



SFPPC

**Surdité
&
perception
musicale**



Sébastien Schmerber

Université de Grenoble

Société Française de phoniatrie
Paris 2009



Psychophysique

Etude de la relation entre **perception** et **propriétés physiques** d'un stimulus.

Dimension physique

Aspects d'un stimulus physique mesurable à l'aide d'un instrument
(ex: sonomètre)

Dimension perceptuelle

Expériences mentales créées par le système, sensoriel/cerveau.
Données mesurables mais non objectives.



Psychophysique auditive

Dimensions perceptuelle

- Hauteur
- Sonie
- Timbre (qualité du son)

#

Propriétés physiques du son

- Fréquences fondamentales
- Intensité
- Enveloppe spectrale/Amplitude

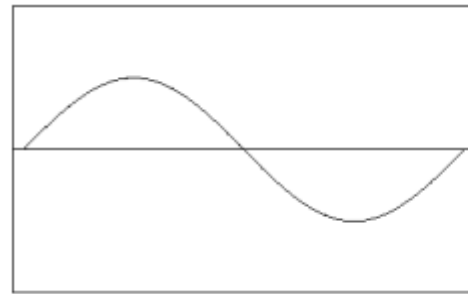
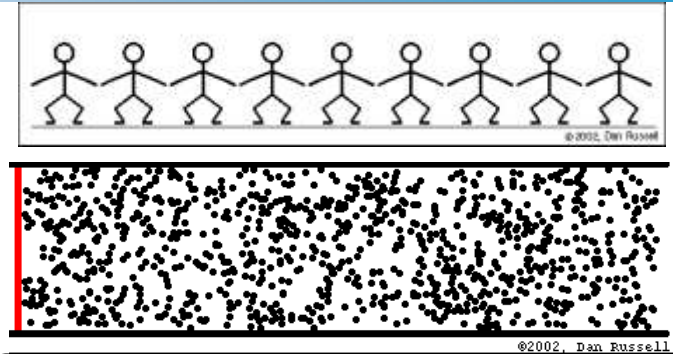


Dimensions physiques du son



Ondes sonores

- *Sons purs : ondes simples*
- *Harmoniques* – ondes complexes
 - Combinaison de sons purs (Fourier)



- Qualité d'un son = *timbre*
 - différence entre une note de trompette et la même note jouée par un violon
 - fonction des harmoniques



Classification

- Périodique

Amplitude

Hauteur d'un cycle

Relation avec sonie

Longueur onde (w)

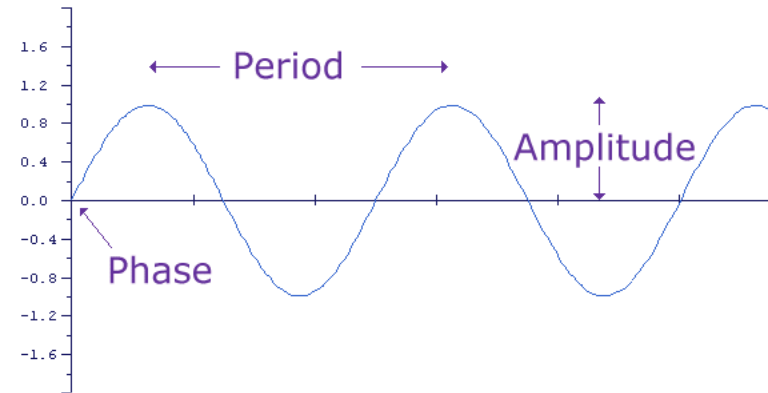
Distance entre les pics

Frequency (λ)

Cycles/sec

Relation avec F

$\lambda w = \text{vélocité}$

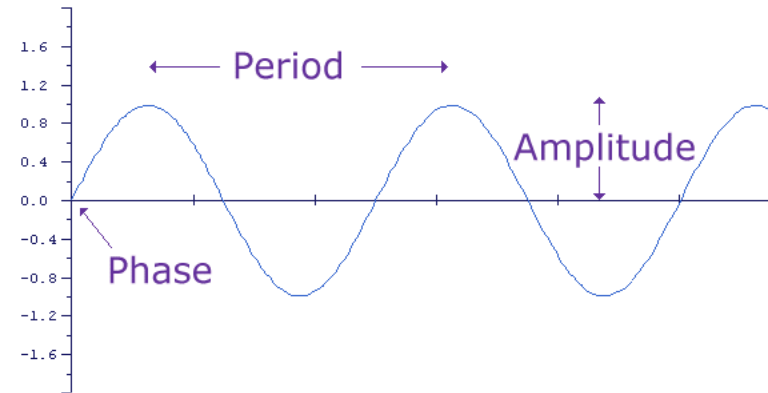


Modes de propagation dans un milieu
Résonances, vibrations

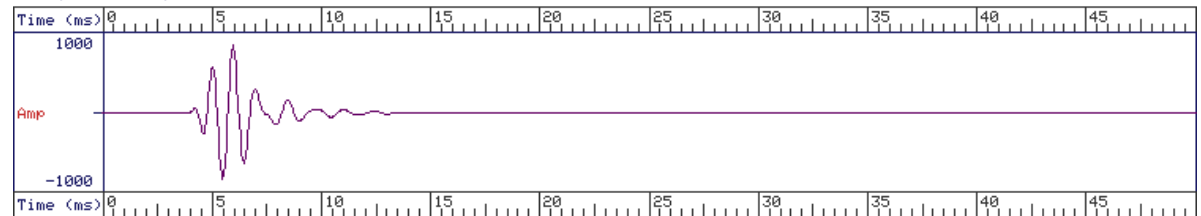


Classification

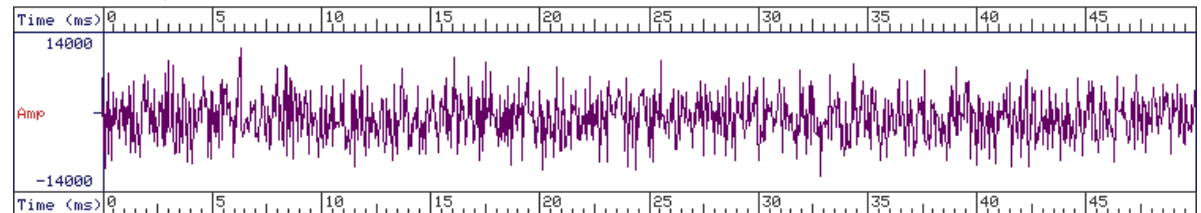
- Périodique
- Apériodique
 - Impulsion
 - bruit



file=pulse.sfs speaker= token=

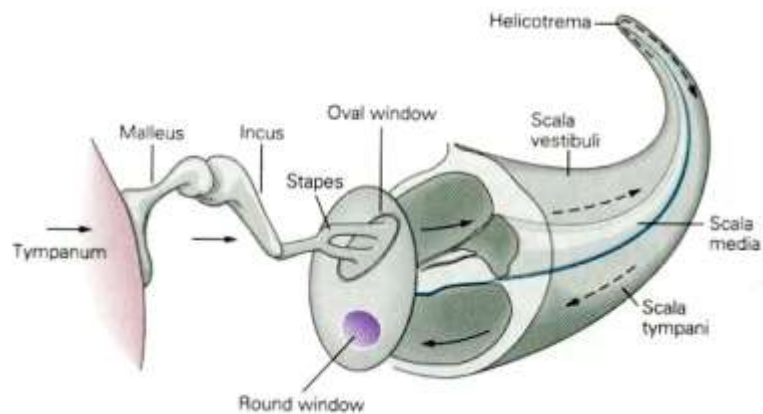


file=noise.sfs speaker= token=

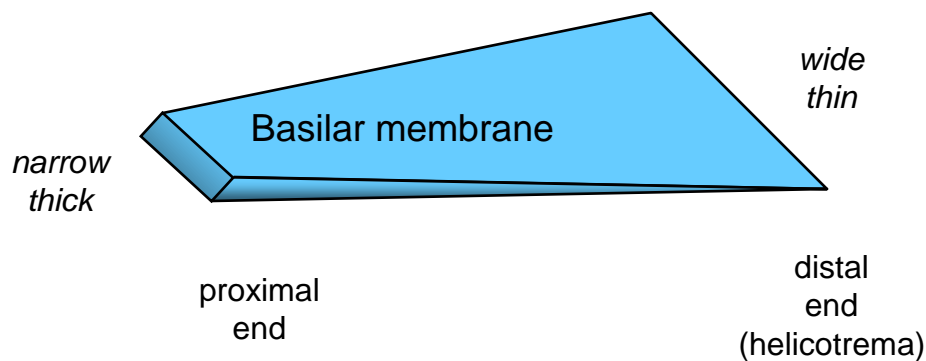




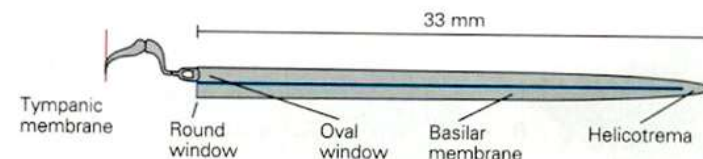
A



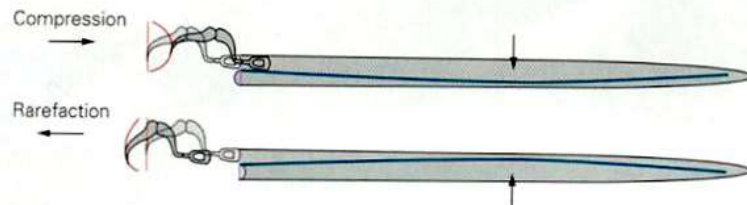
membrane basilaire : structure non uniforme le long de ses 33 mm de long.



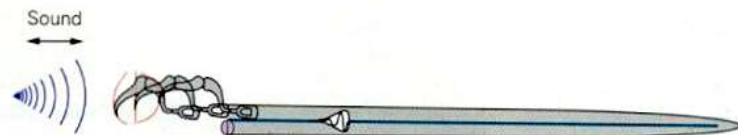
B



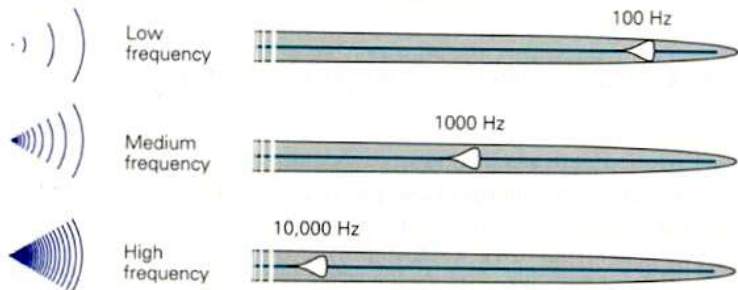
C



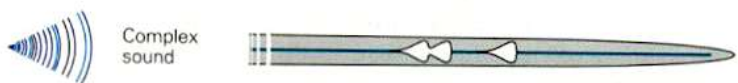
D



E



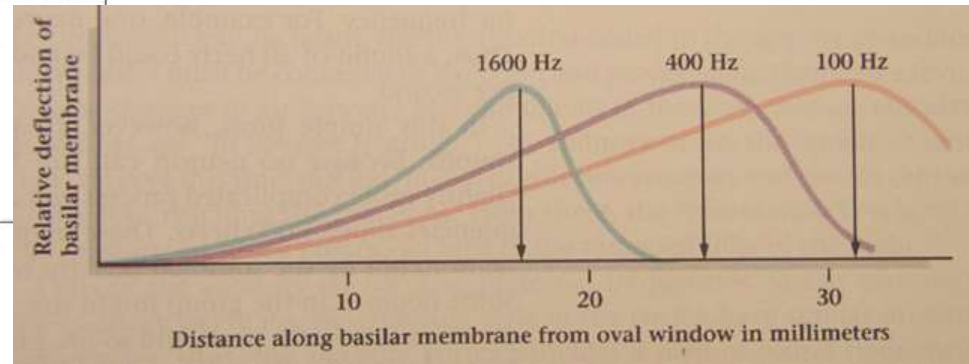
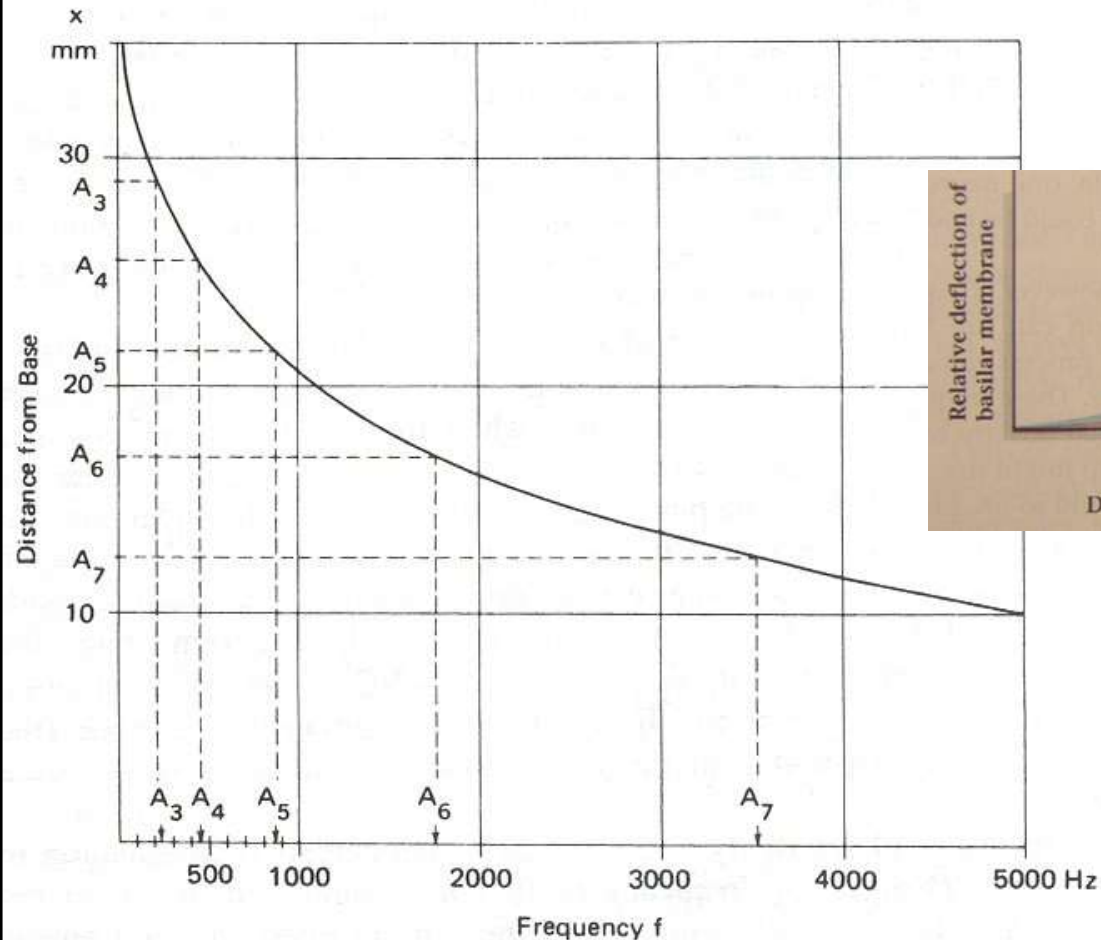
F



“tonotopie”



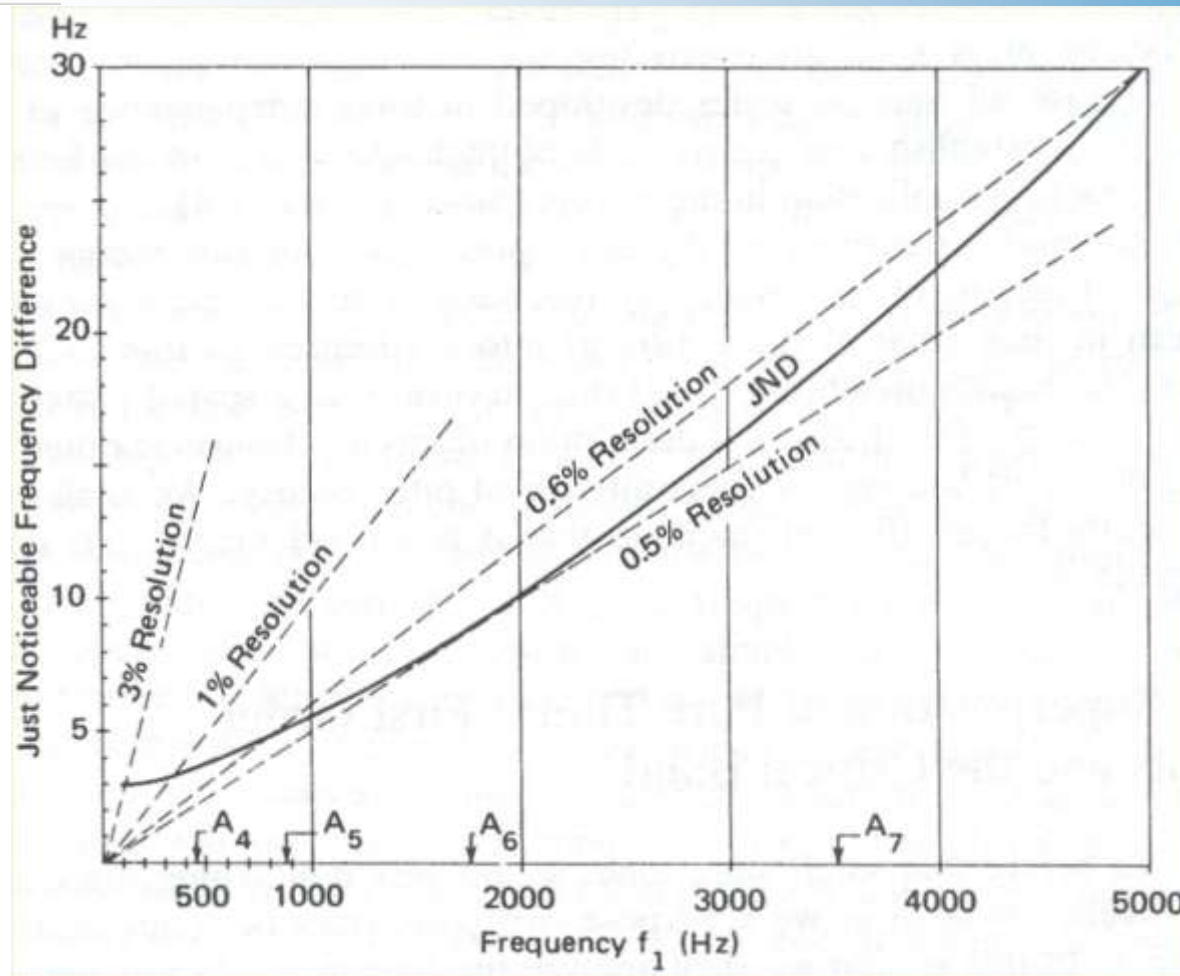
Tonotopie fréquentielle



From: Juan G. Roederer, The Physics and Psychophysics of Music



JND : Just Noticeable Difference



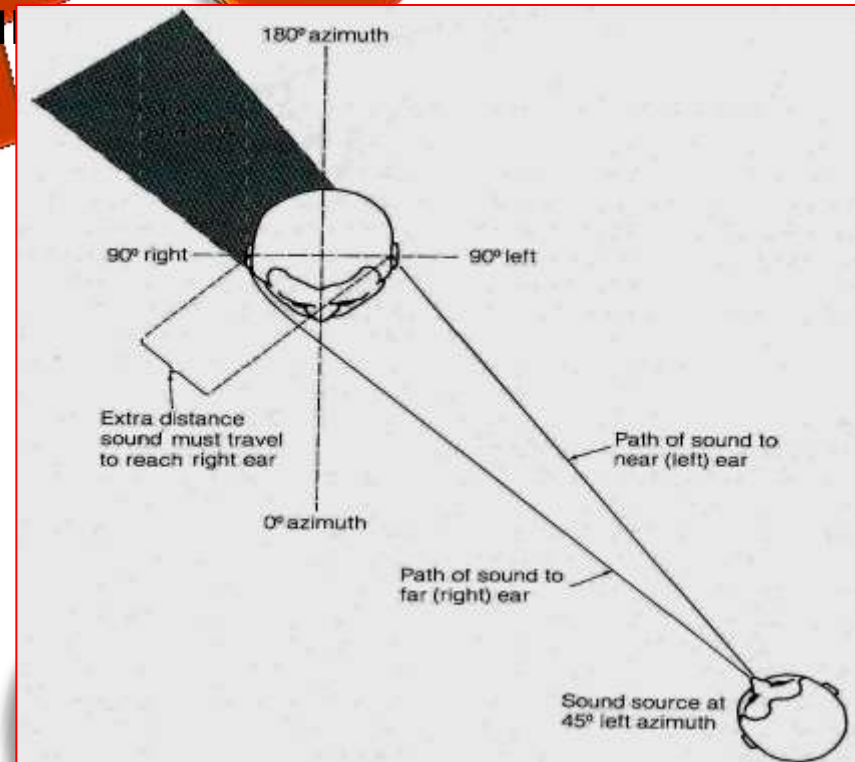
~0.6% en fréquence, + grand pour BF

From: Juan G. Roederer, The Physics and Psychophysics of Music



localisation sonore : les paramètres

- Difference interaurale de temps (DIT) : dominant pour les BF (<1.5 k)
seuil de détection : $10 \mu s$
- Difference interaurale d'intensité (DII) : dominant pour HF (>3 k)
- Différence de phase
 - Composantes spectrales : filtrage du pavillon pour la localisation verticale





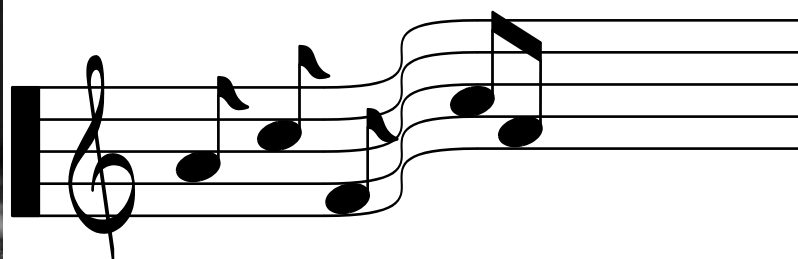
Dimensions perceptuelles du son



- Hauteur tonale (pitch)
 - Relation avec F_0
 - “l’oreille doit être sensible à la répétition”
- Sonie
 - Relation log. avec intensité
- Timbre
 - Relation avec composantes spectrales
 - “l’oreille doit réaliser une analyse spectrale”



Les fréquences de la voix humaine



soprano

alto

ténor

basse

7 040 Hz

3 520 Hz

1 760 Hz

880 Hz

440 Hz

220 Hz

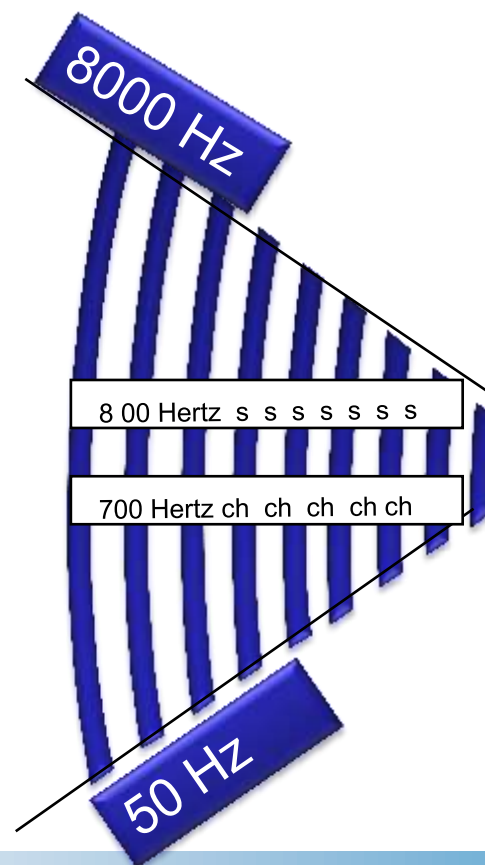
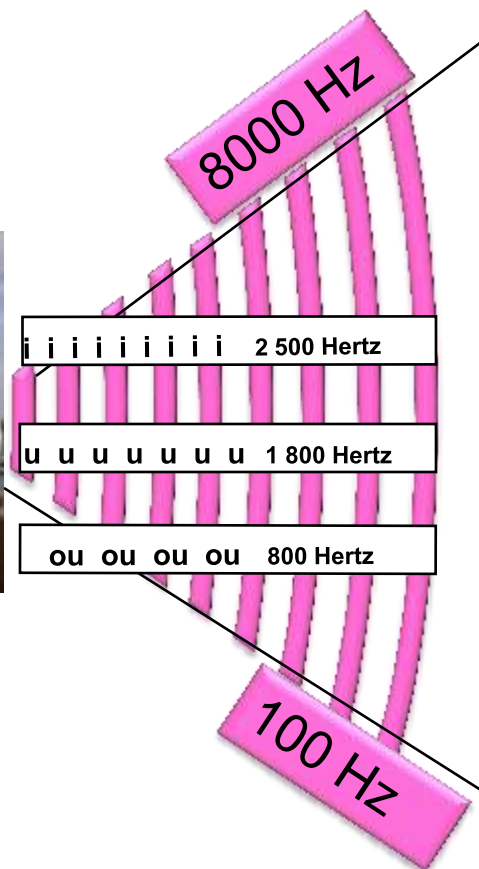
110 Hz

55 Hz

la

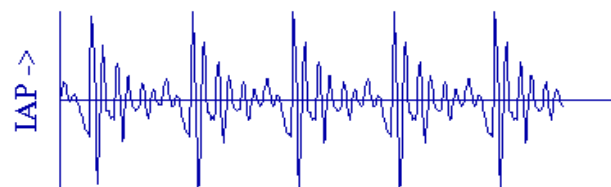


La hauteur des phonèmes

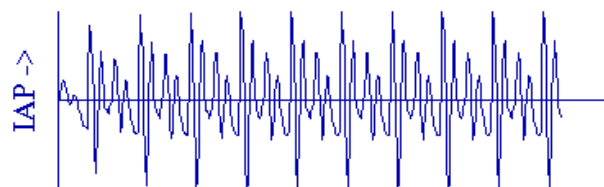




Hauteur (pitch) et F_0



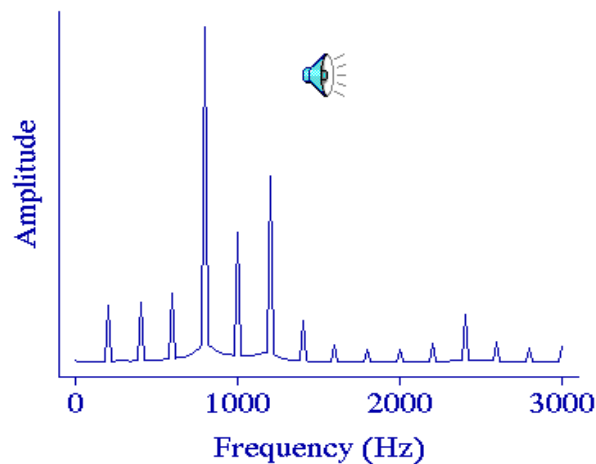
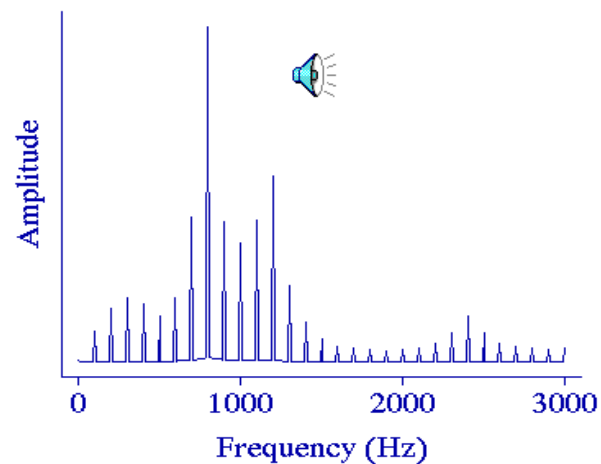
Time ->



Time ->



300 vs. 350



≠



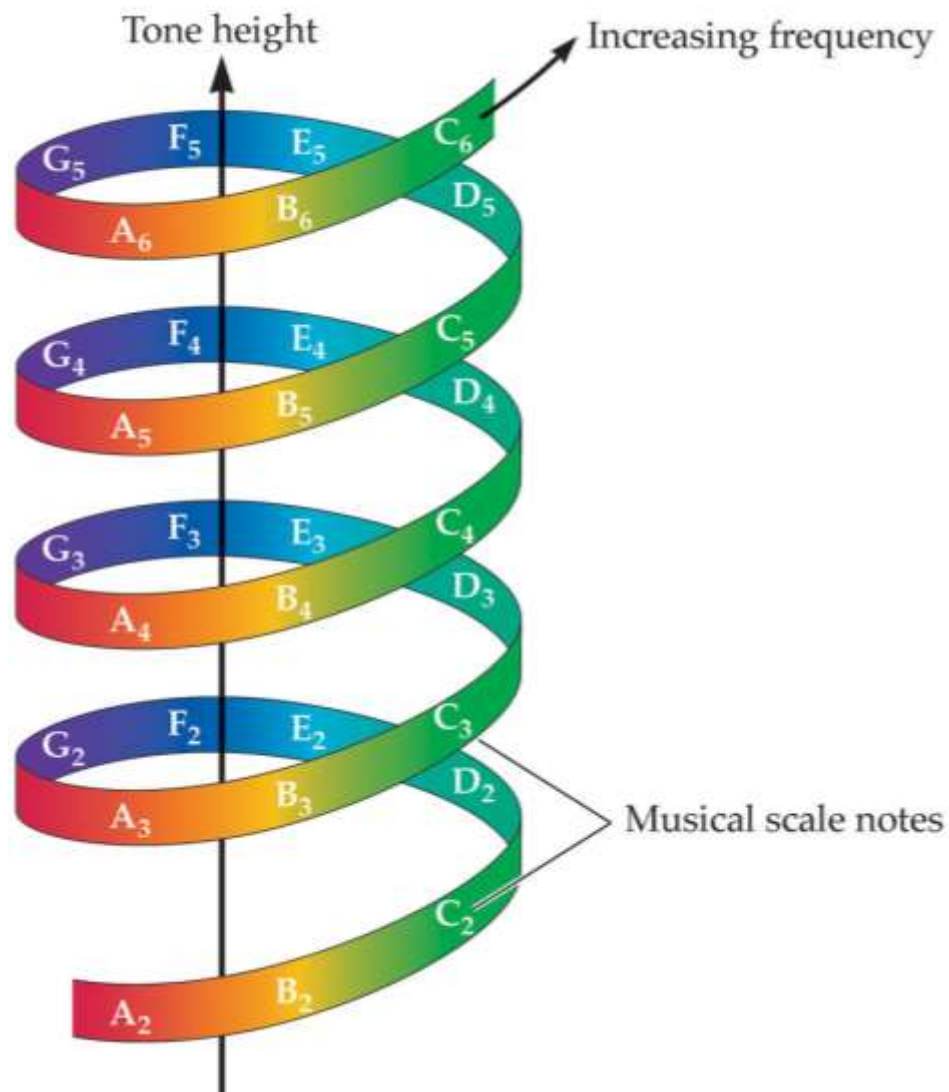
3000 vs. 3050

F_0 basse : hauteur + basse

F_0 élevée : hauteur + élevée



Hélix musicale





Sonie

Très dépendante de la fréquence du signal.

A intensité constante un *signal de fréquence moyenne* (1-4 kHz) *apparaît plus fort qu'un signal à 125 et 8000 Hz*

125 Hz, 3000 Hz, 8000 Hz



La membrane basilaire est + sensible aux fréquences moyennes



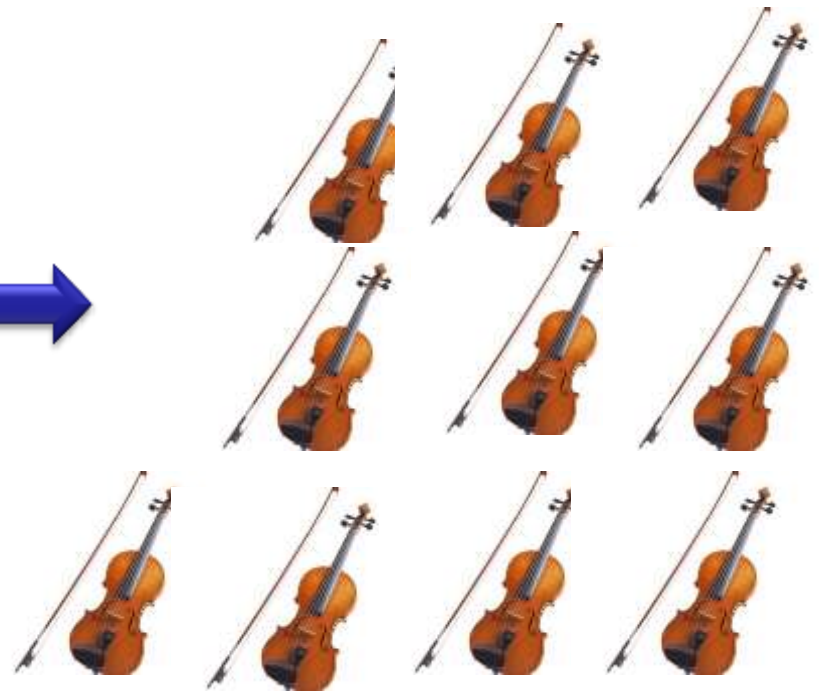
Loi de Fechner

" La sensation varie comme le logarithme de l'excitation "

Volume A



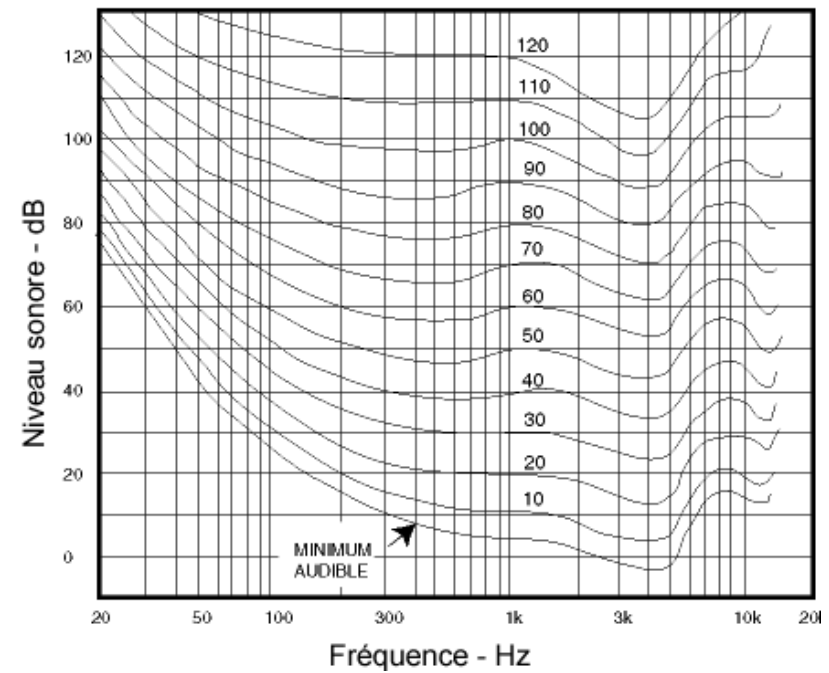
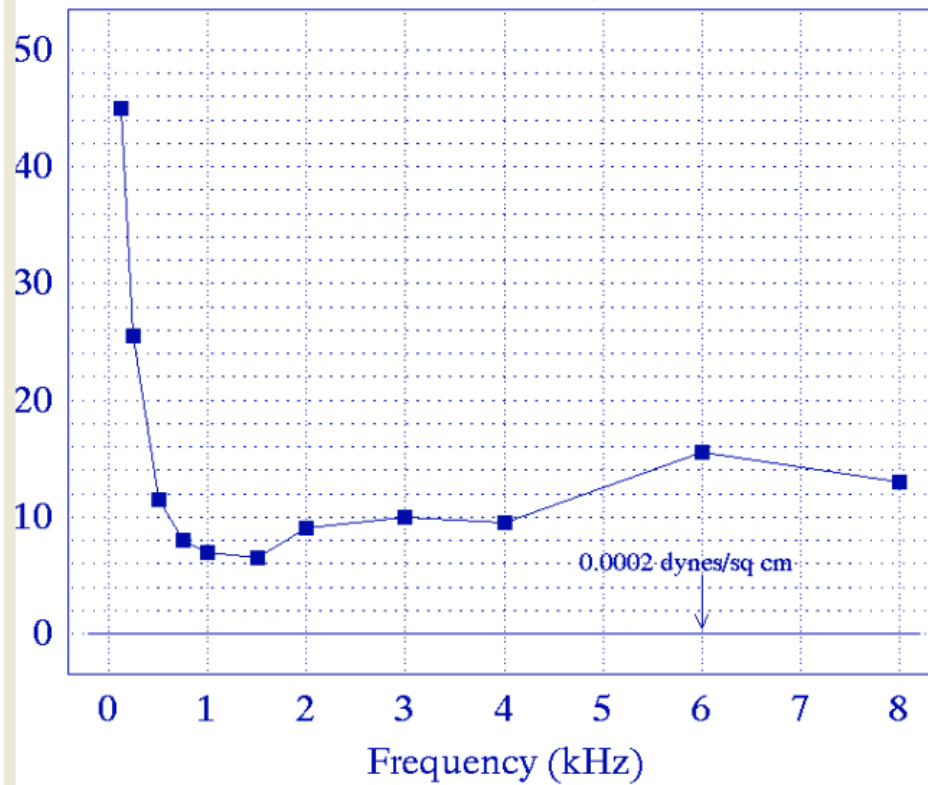
Volume 2 A





Fletcher

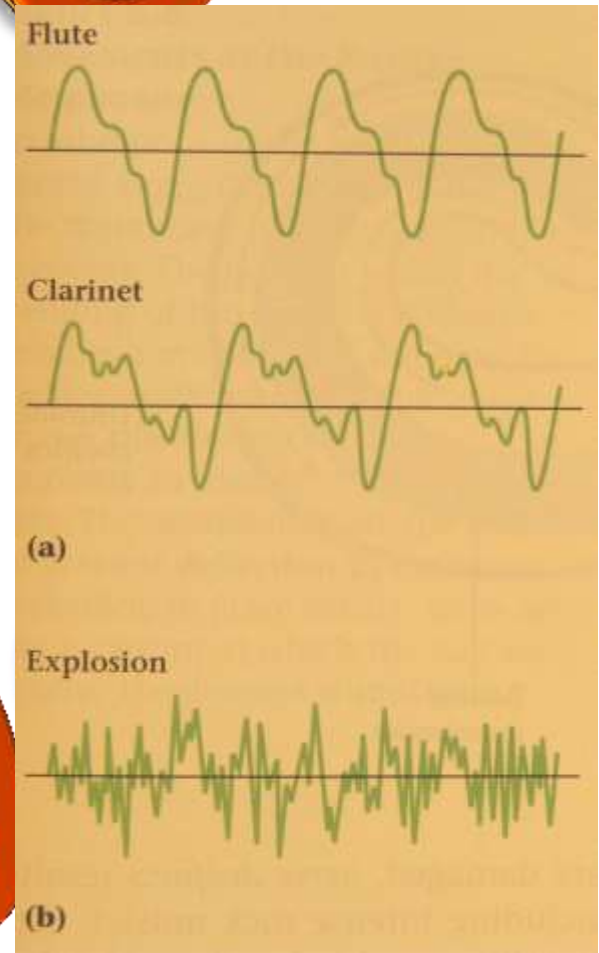
THE AUDIBILITY THRESHOLD
AT DIFFERENT FREQUENCIES





Timbre

- Timbre
 - patterns complexes associés à F_0 d'un son → enveloppe spectrale
 - enveloppe spectrale permet de distinguer la musique instrumentale
- Multiples de F_0 → musique
- Multiples de F_x, F_y, F_z → bruit





Timbre

Coloration tonale, qualité sonore

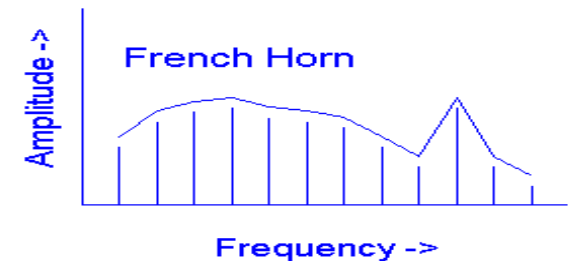
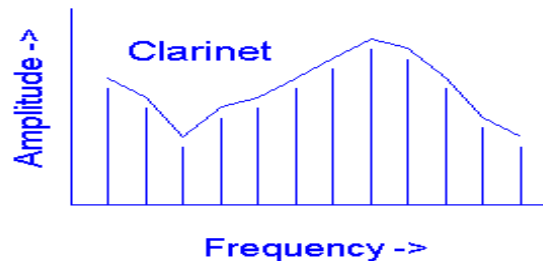
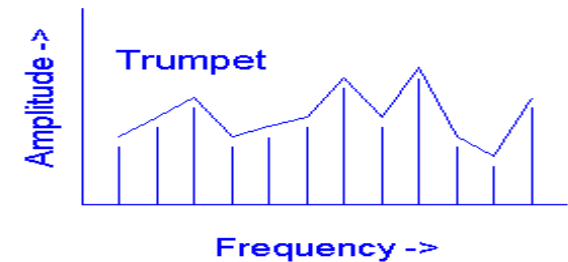
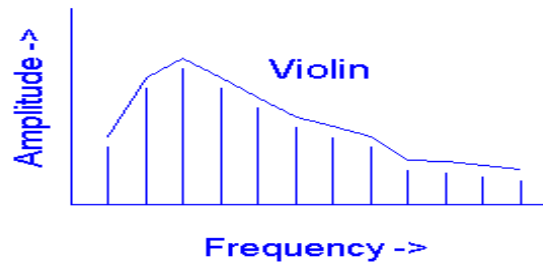
2 sons ayant même hauteur, sonie, durée perçus # sont définis par leur timbre

Ex : clarinette, saxophone, piano

Voix : voyelles ayant chacune leur timbre (ex, /â/ and /i/).

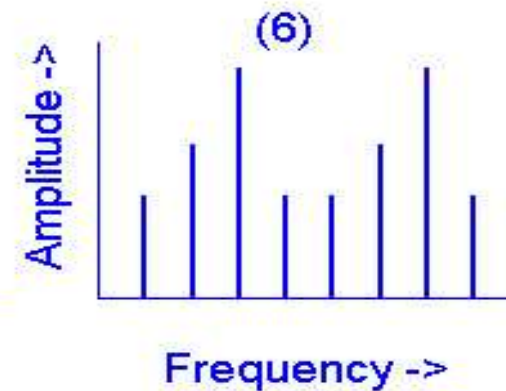
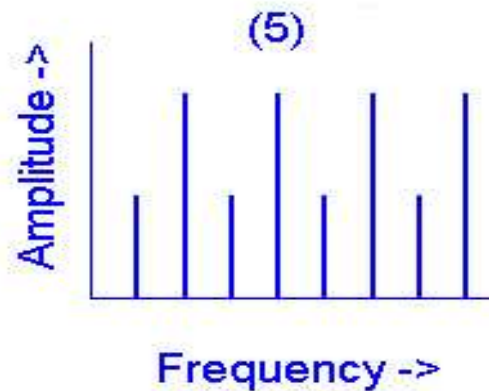
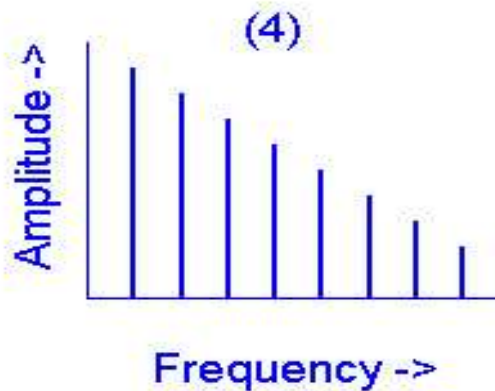
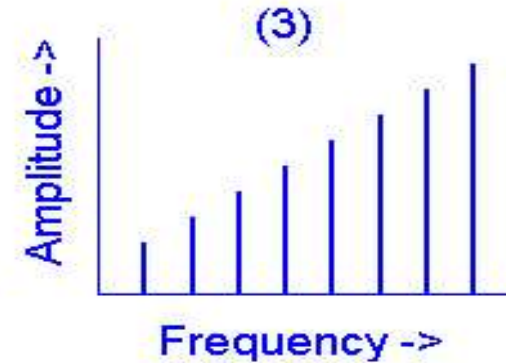
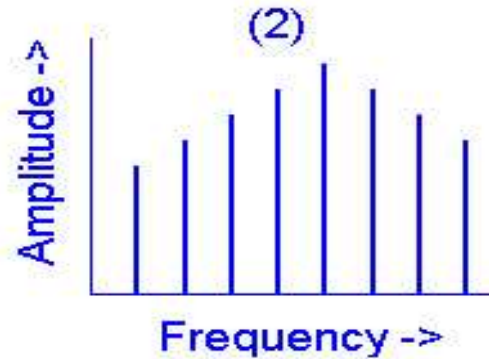
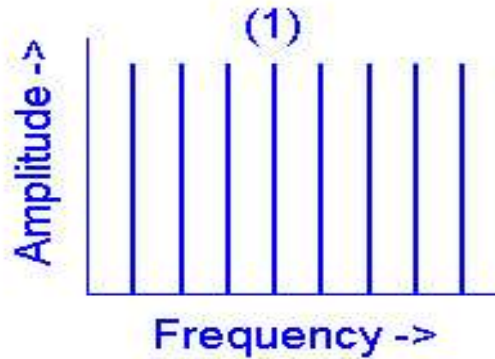
Attributs physiques

- Enveloppe spectrale
- Amplitude spectrale





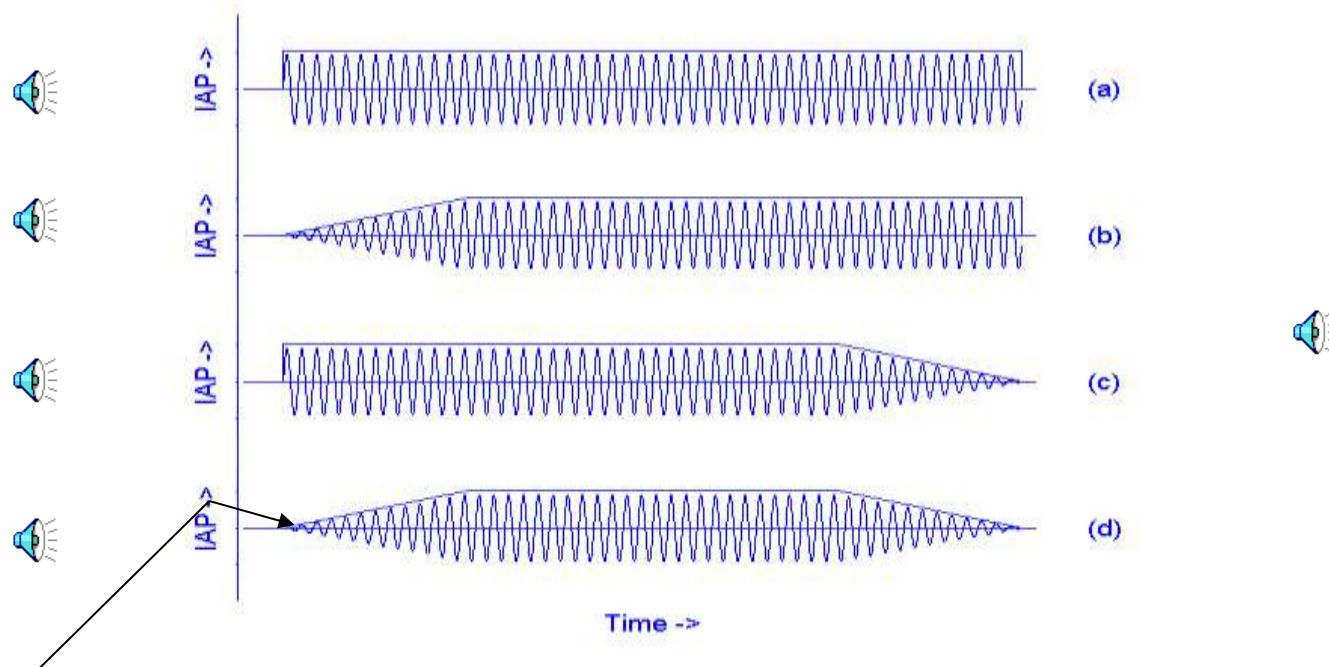
Enveloppe spectrale et timbre



pitch similaires (constant F_0 /espacements harmoniques) et différences de timbre ou qualité sonore.



L'attaque

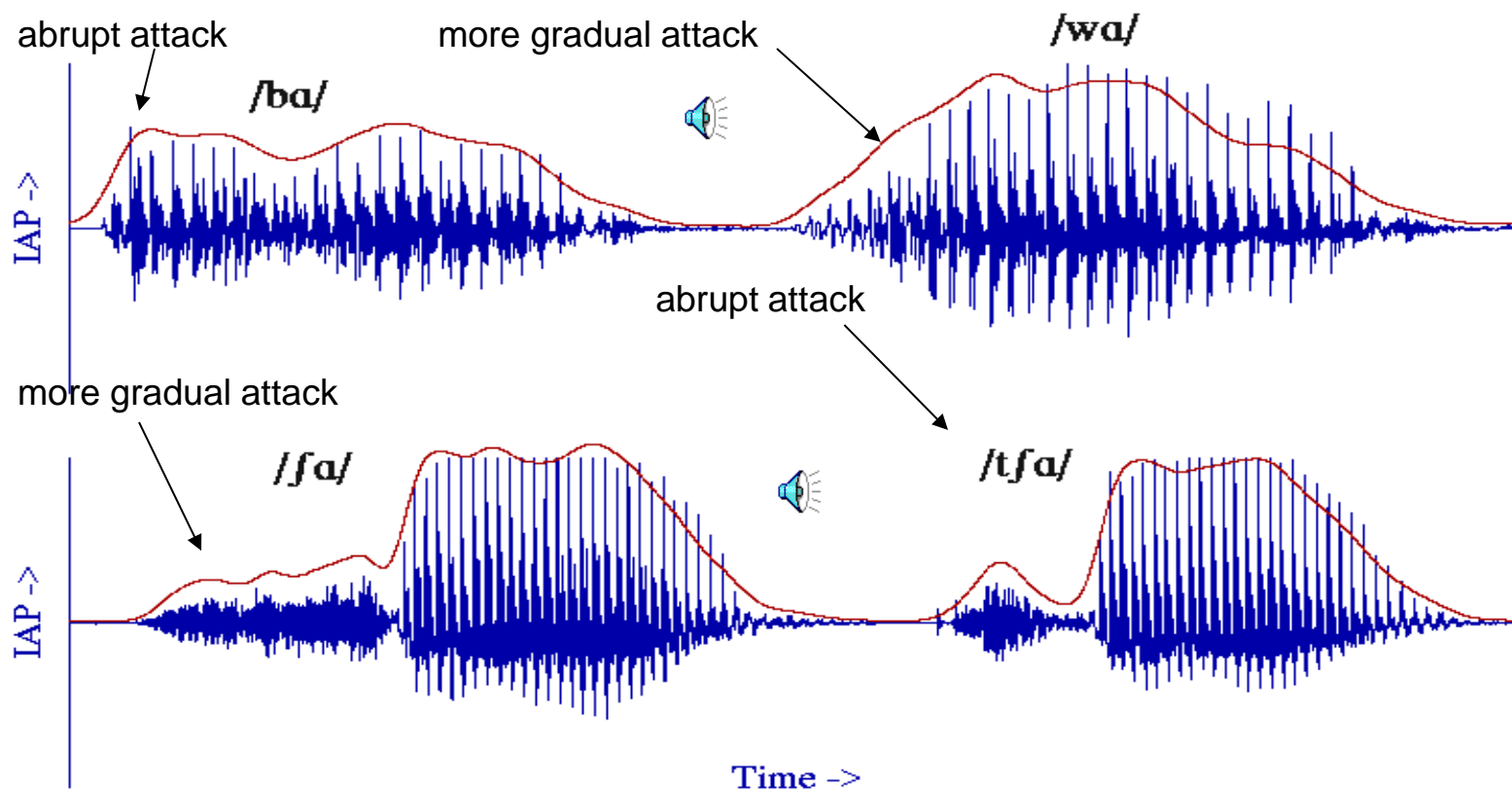


Attaque

Effet significatif sur le timbre.

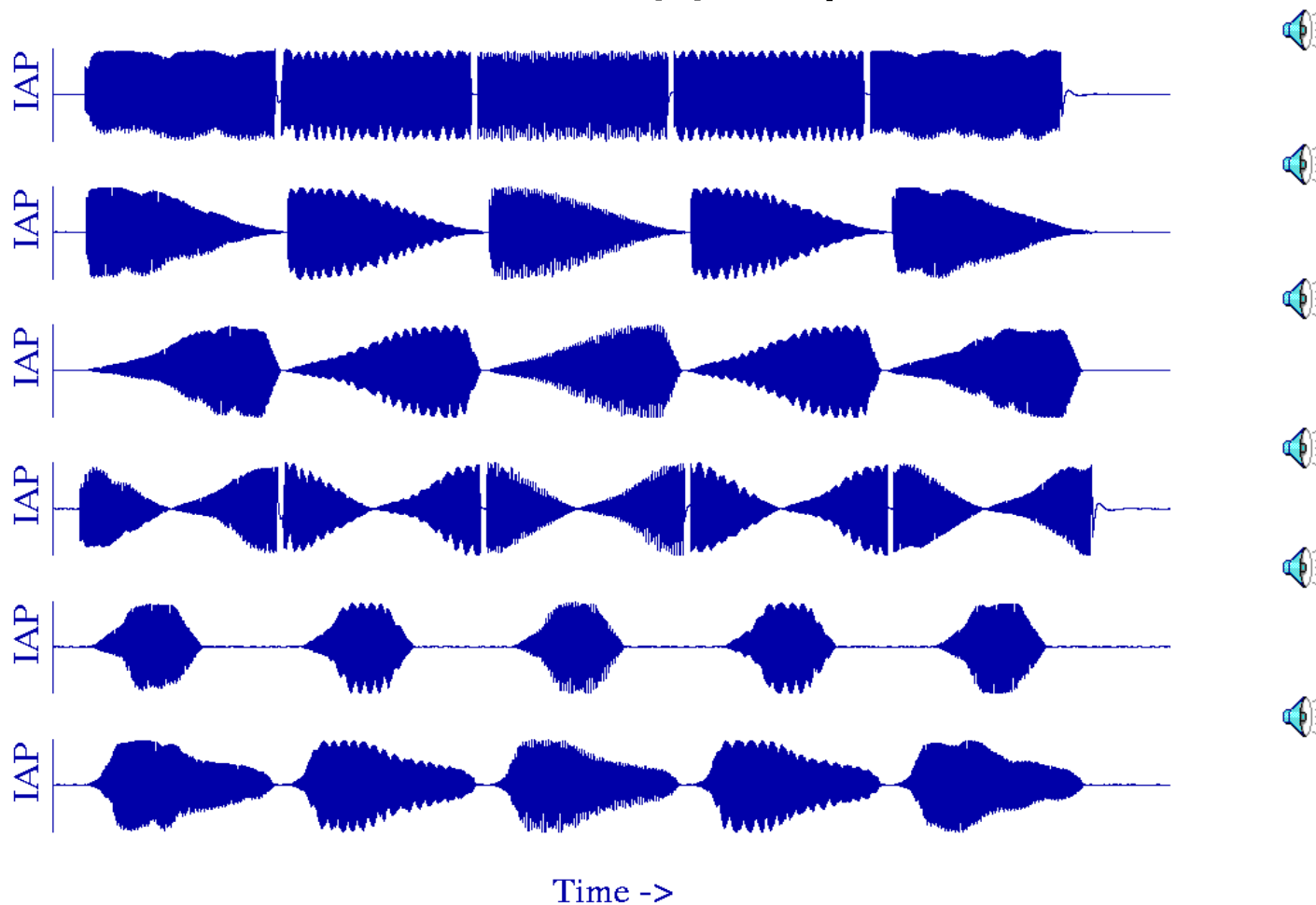


L'attaque dans la voix





Différences de timbre en relation avec l'enveloppe spectrale



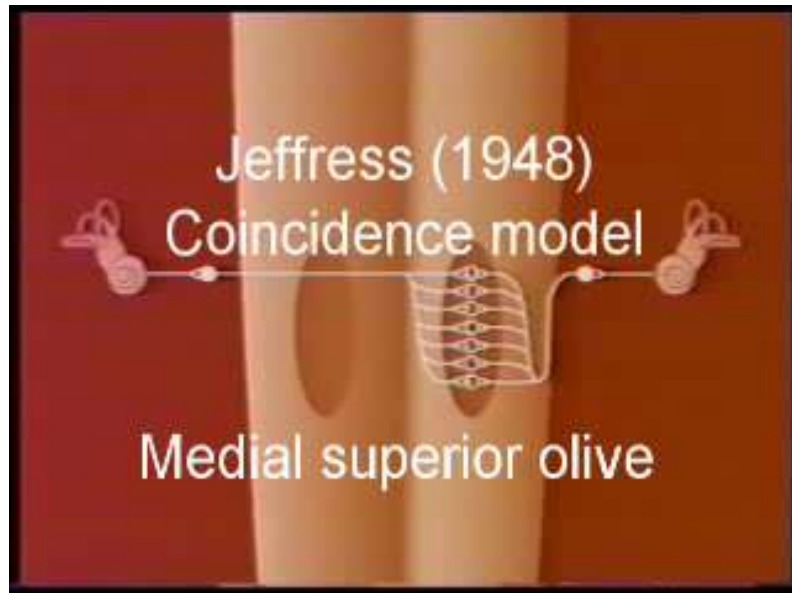
Amplitude +++

Attaque +++

Spectre +

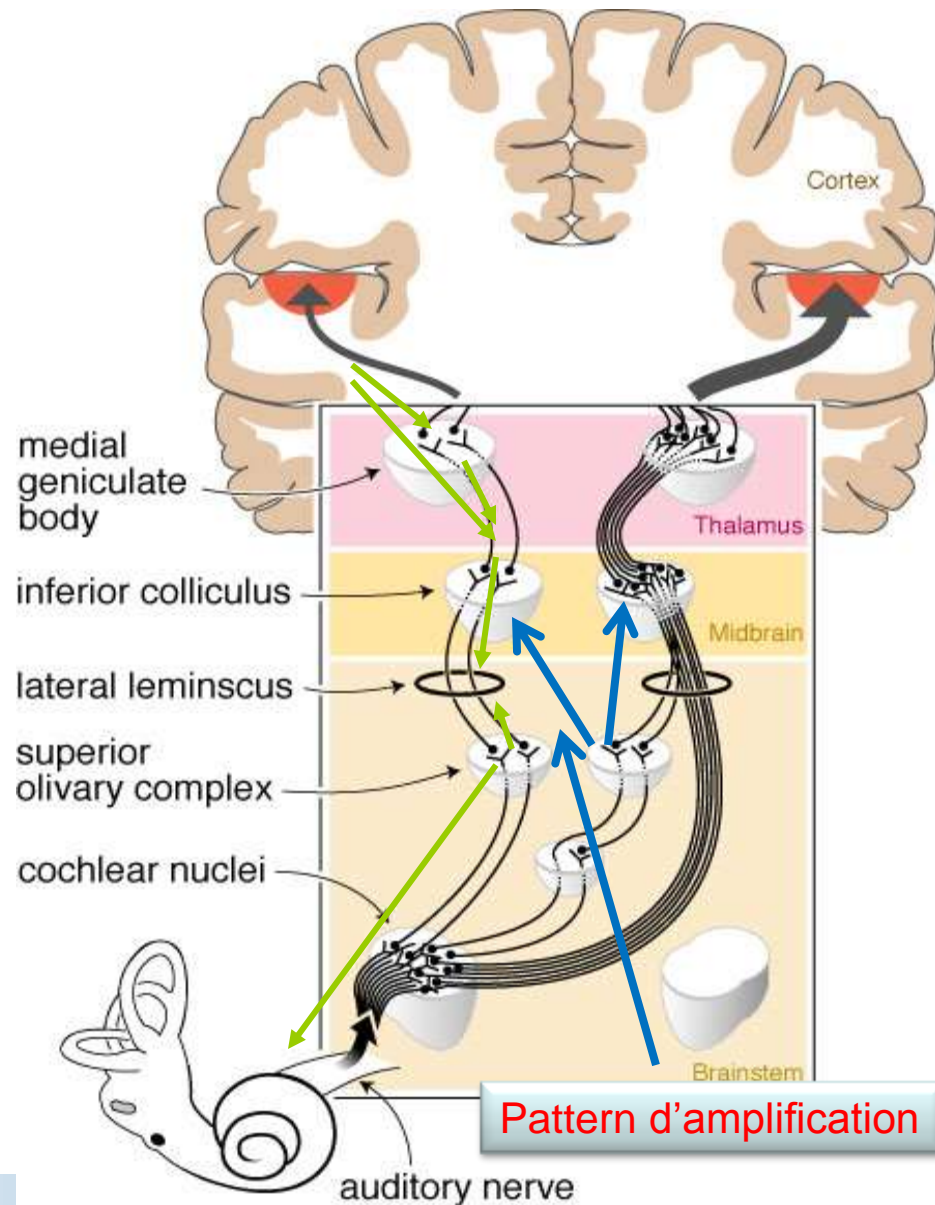


Le traitement de l'information



ITD, ILD binaural processing

Renforcement spectral détection onset,
Information spatiale monoaurale



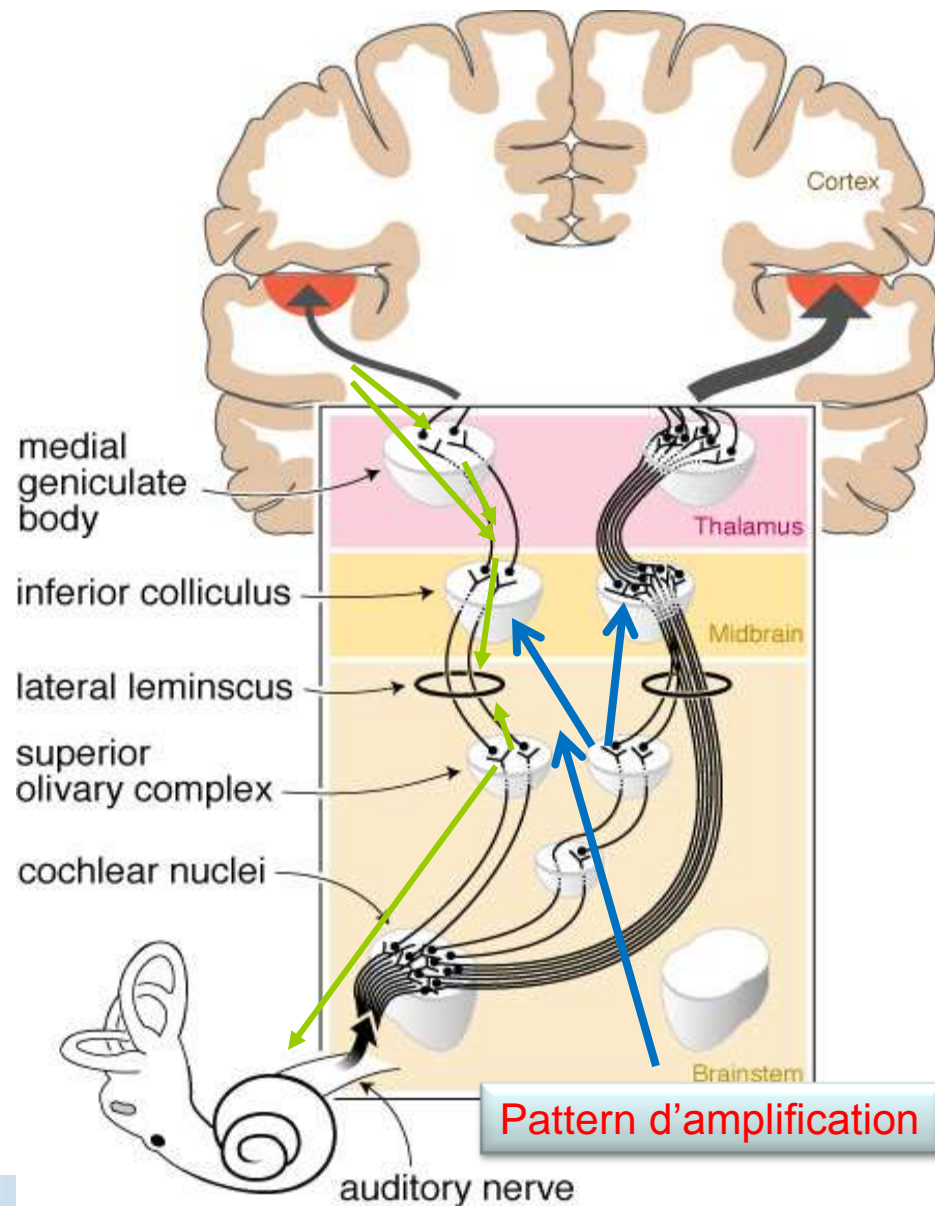


Le traitement de l'information

décomposition spectrale

ITD, ILD binaural processing

Renforcement spectral détection onset,
Information spatiale monaurale





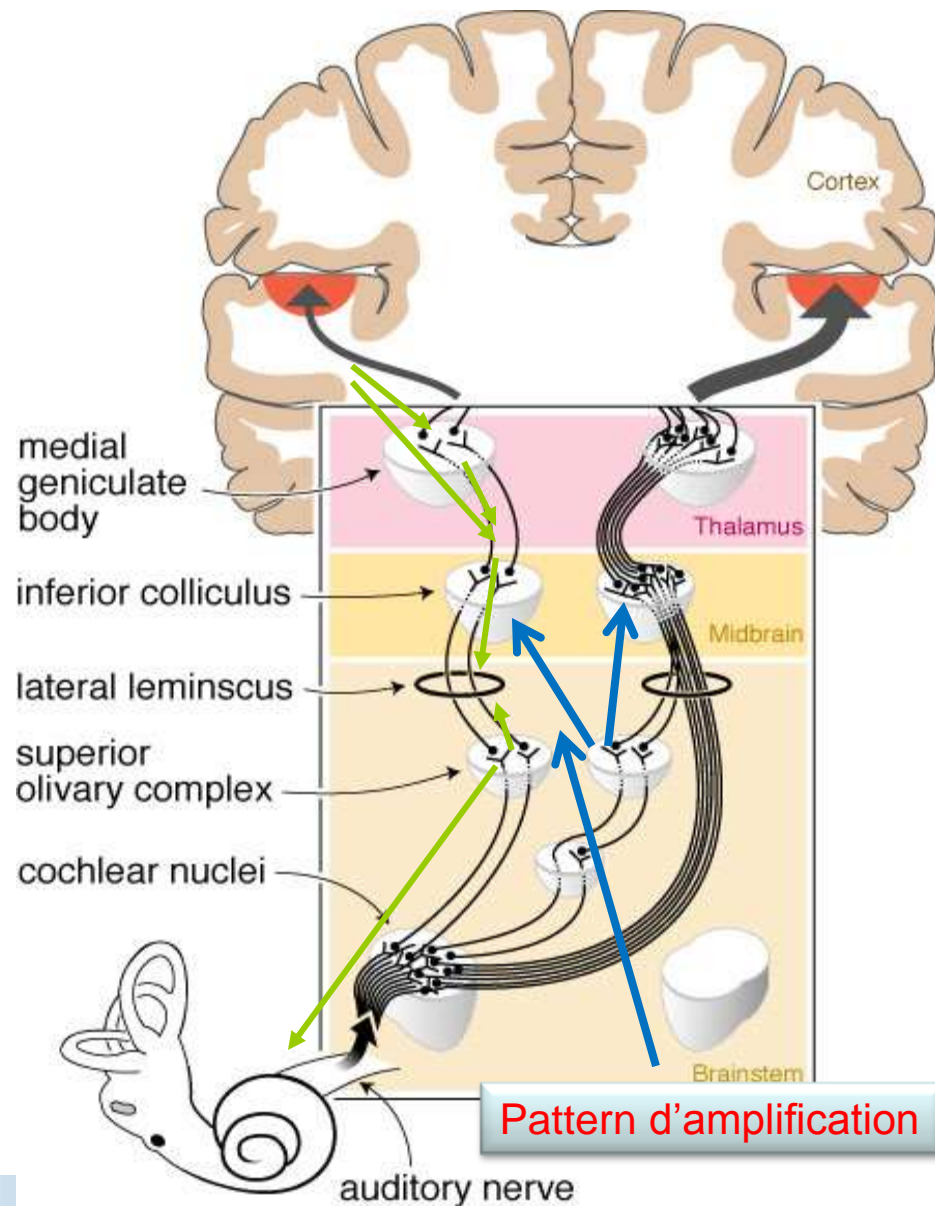
Le traitement de l'information

Periodicité, latence, Carte directionnelle

décomposition spectrale

ITD, ILD binaural processing

Renforcement spectral détection onset,
Information spatiale monoaurale





Le traitement de l'information

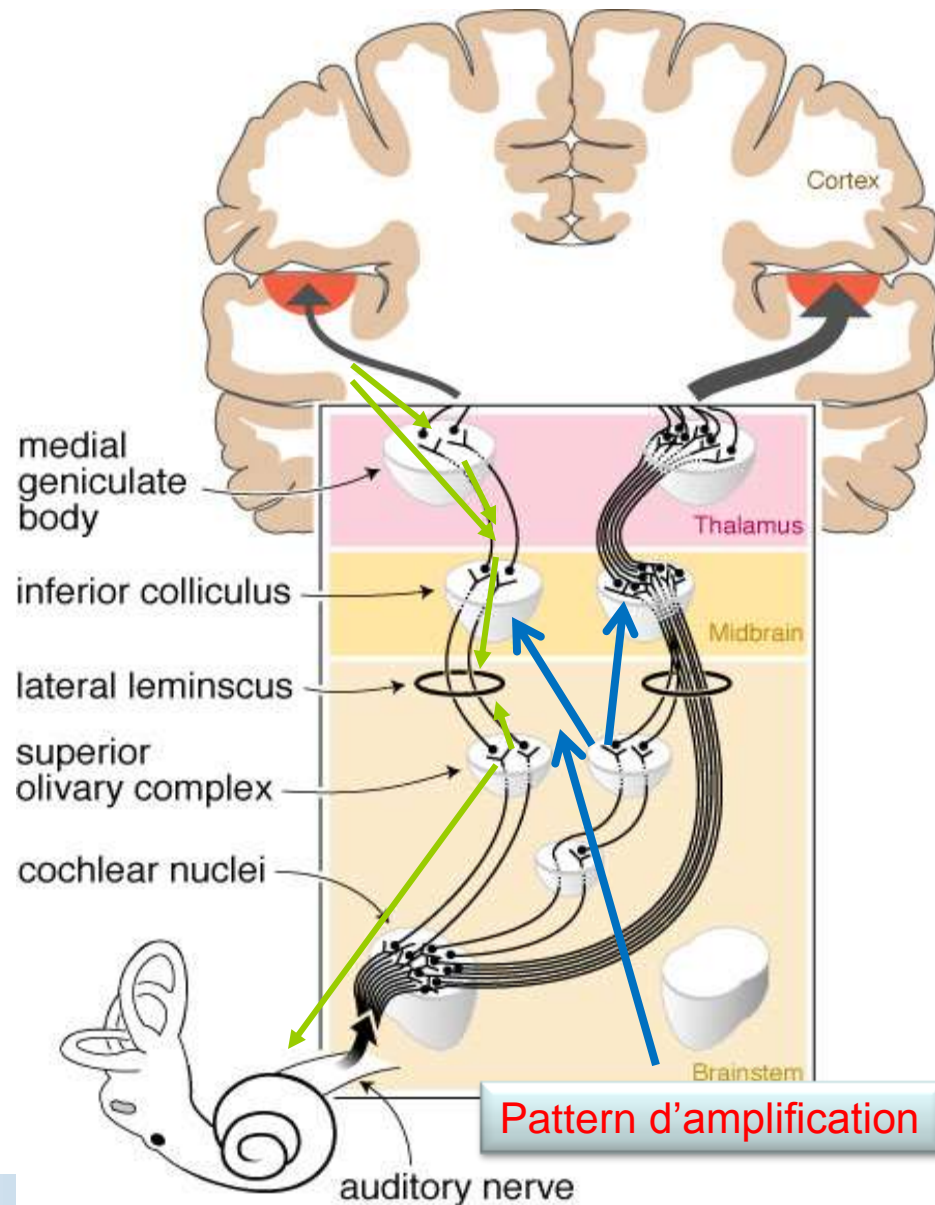
Relai final vers le cortex Interactions affér/éffér

Periodicité, latence, Carte directionnelle

décomposition spectrale

ITD, ILD binaural processing

Renforcement spectral détection onset,
Information spatiale monoaurale





Le traitement de l'information

Perception, cognitive

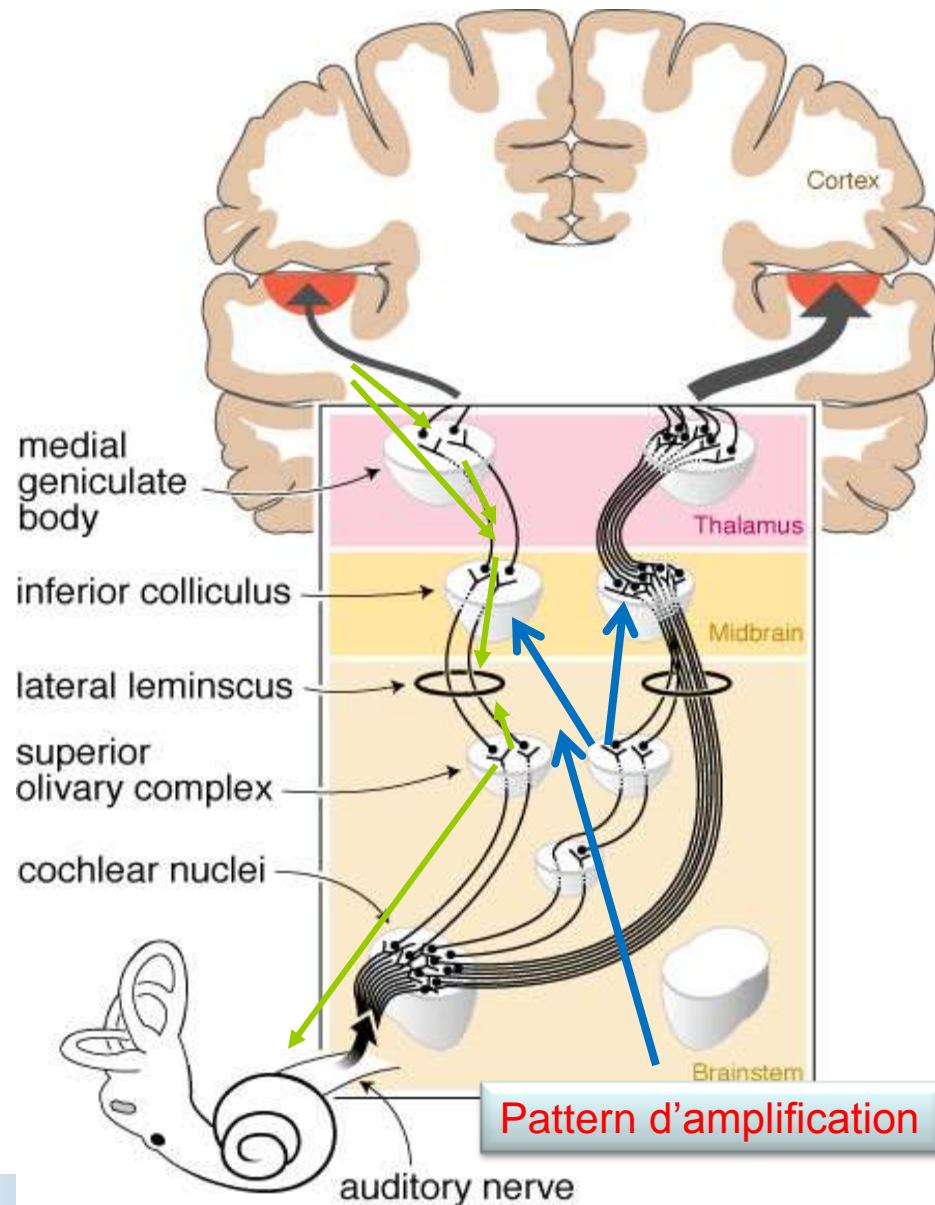
Relai final vers le cortex Interactions affér/éffér

Periodicité, latence, Carte directionnelle

décomposition spectrale

ITD, ILD binaural processing

Renforcement spectral détection onset,
Information spatiale monoaurale





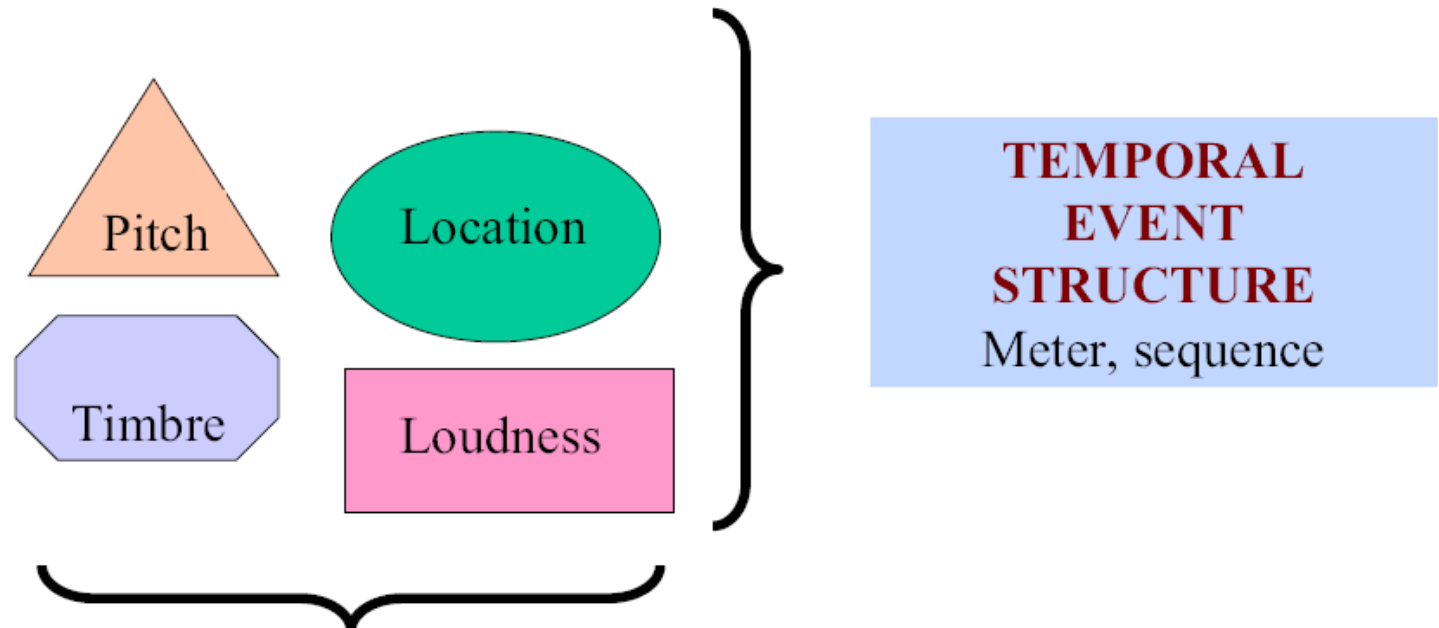
Perception musicale & cognition

- **Hauteur :** **Mélodie, harmonie, consonance**
- **Timbre :** **Instrument, voix**
- **Sonie :** **Dynamiques**
- **Organisation, fusions d'objects :** **combien de voix?**
- **Rythme :** **organisation temporelle**
- **Phrases musicales:** **répétition, séquence**



Aspects cognitifs

- **Mnémonique :** familiarité
- **Hedonisme** agréable/désagréable
- **Sémantique :** association cognitive & émotionnelle

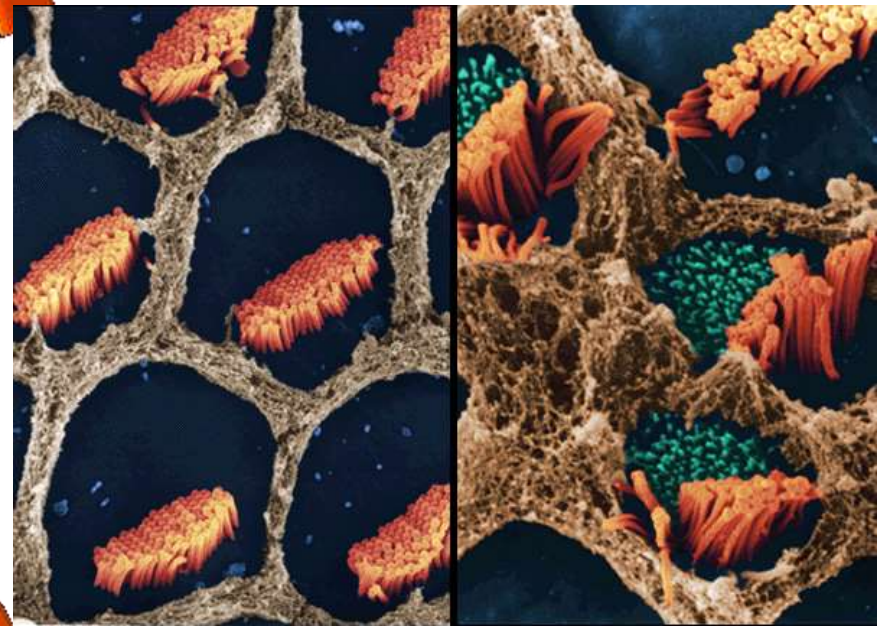
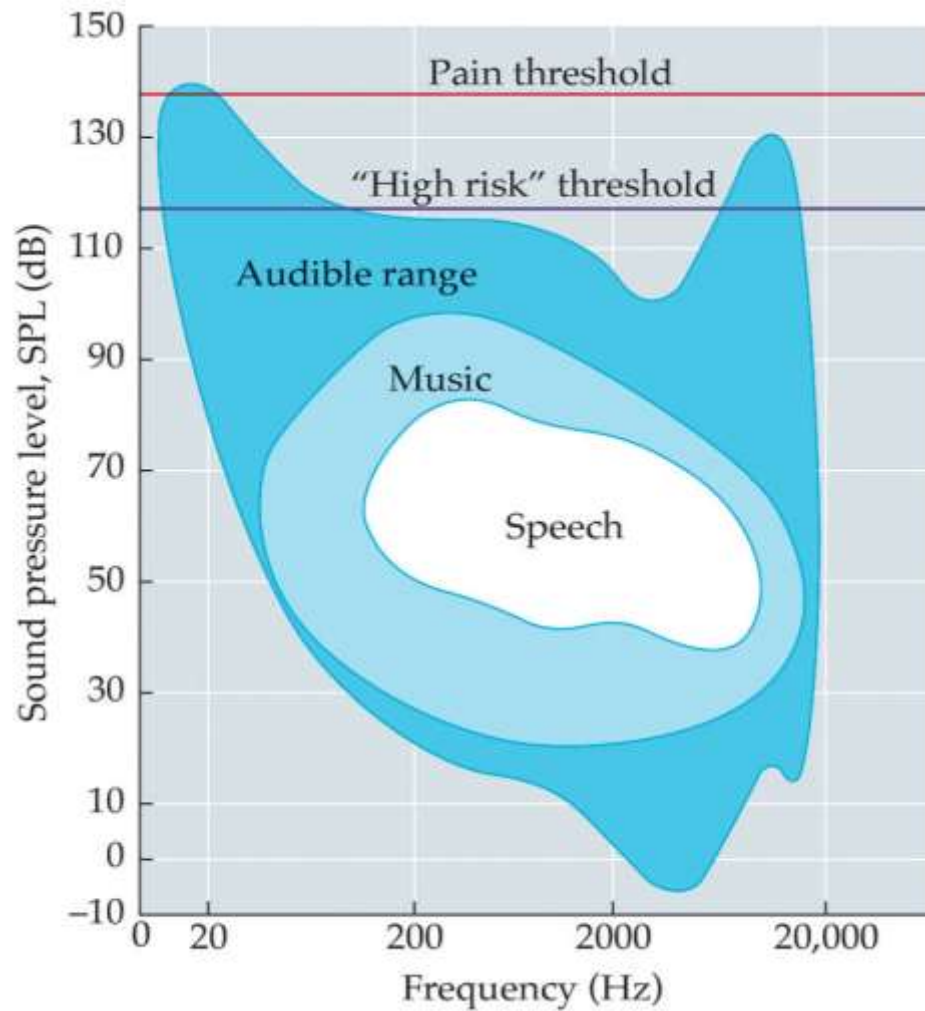


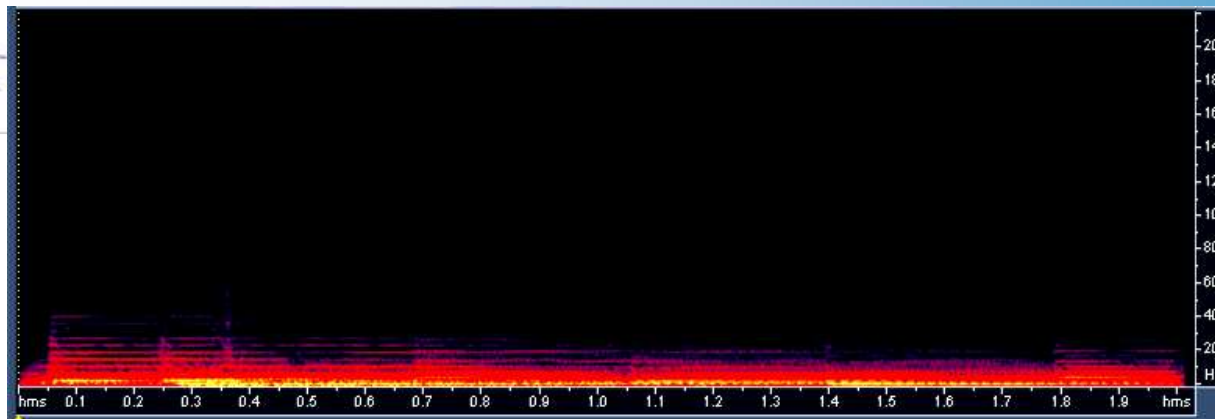


La surdité chez les musiciens

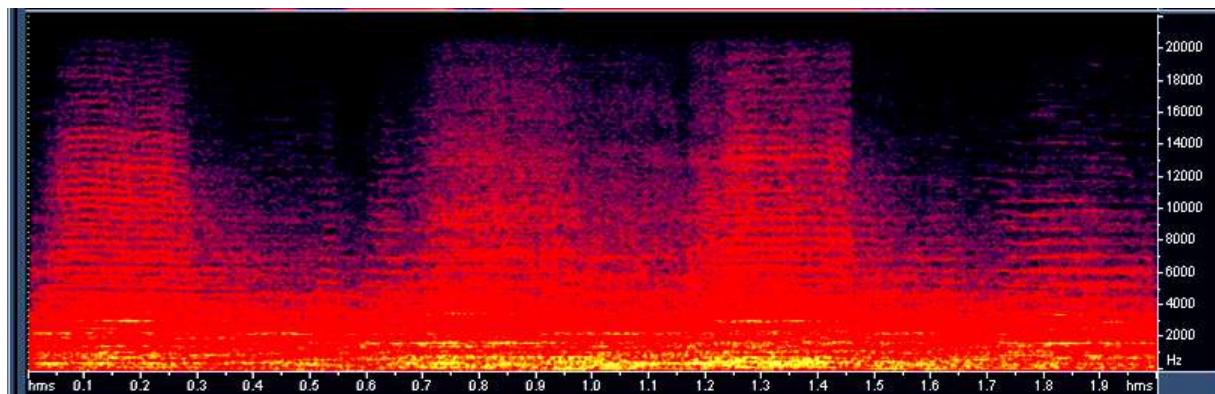


Musiciens professionnels

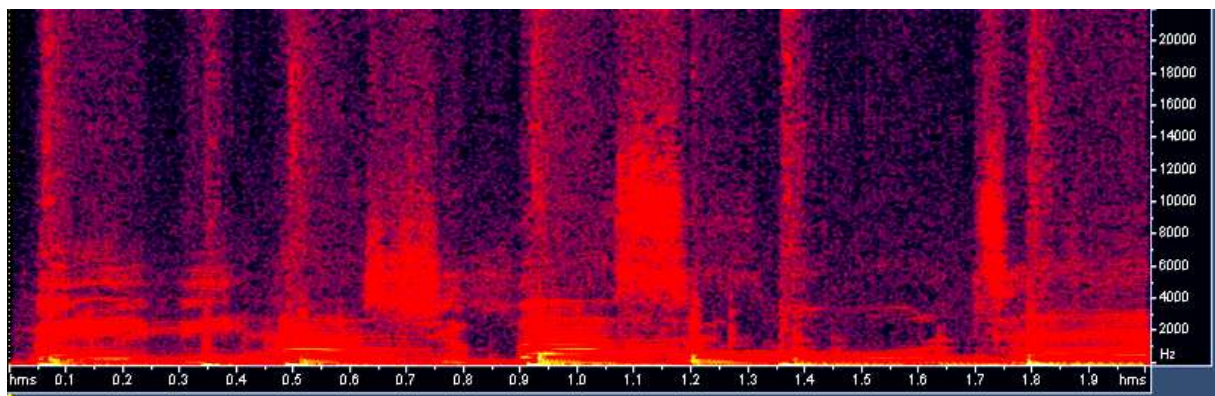




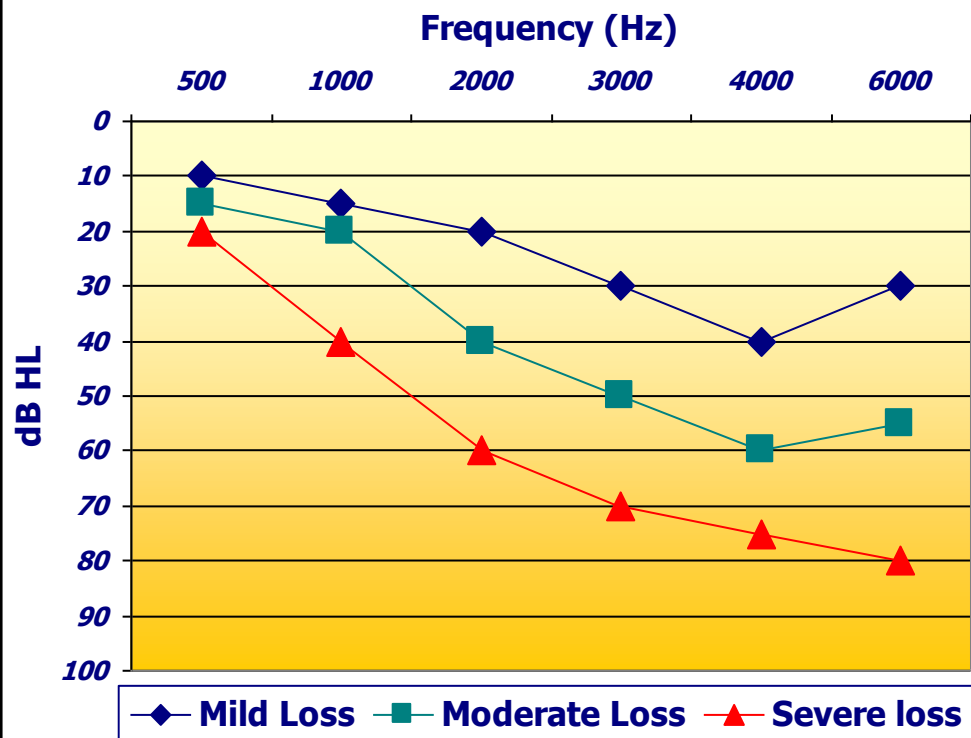
Piano
solo



Orchestre



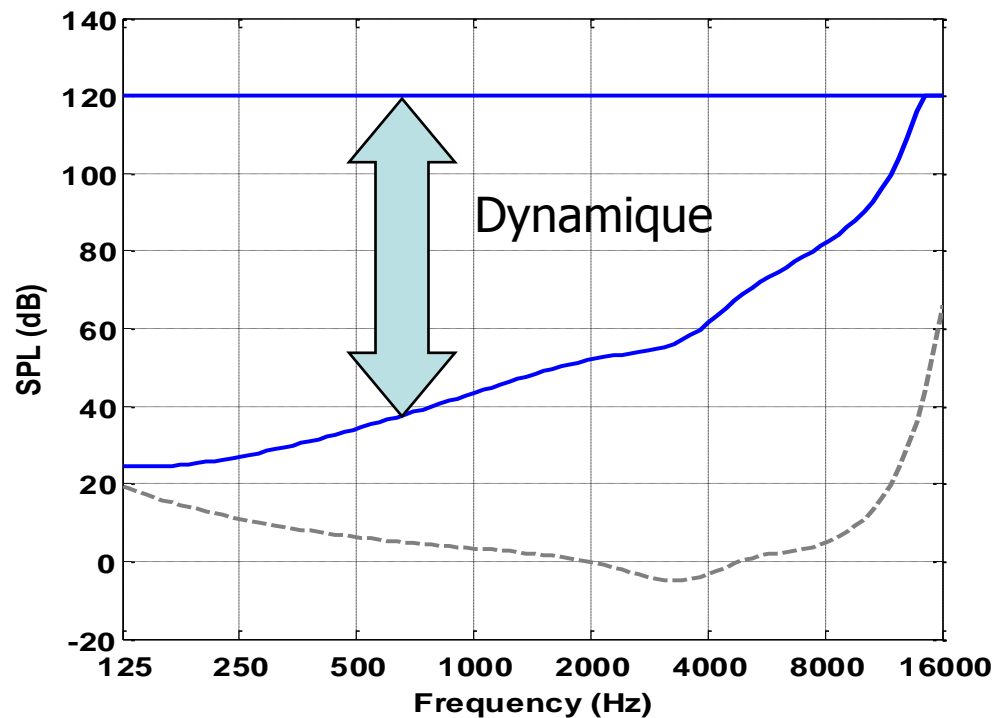
Solo vocal
+ guitare



- ↘ sensibilité à faible intensité
- ↘ sélectivité fréquentielle
- ↗ anormale de la sonie (recrutement)

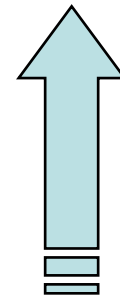


Limites de l'appareillage



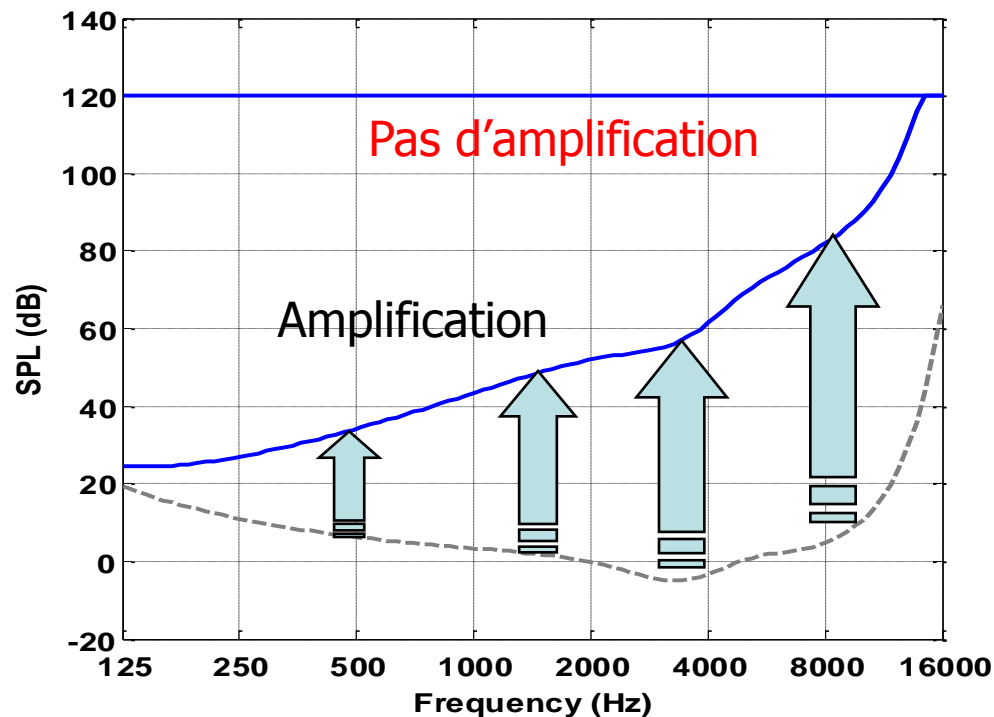
Seuil confort limite sup

Seuil audibilité





Amplification sons faibles et pas sons forts



Seuil confort limite sup

Seuil audibilité

Amplification souvent $f(\text{Fréquence})$



Exposition sonore musiciens

Table 1. Sound Levels of Various Instruments

Violin	84–103 dB (A)
Cello	84–92 dB (A)
Bass	75–83 dB (A)
Piccolo	95–112 dB (A)
Flute	85–111 dB (A)
Clarinet	92–103 dB (A)
French horn	90–106 dB (A)
Oboe	80–94 dB (A)
Trombone	85–114 dB (A)
Xylophone	90–92 dB (A)

Data from Folprechtova and Miksovska.¹⁸



Niveaux sonores admissibles

<u>Durée/j</u>	<u>niveau sonore</u>
8 hrs	85 dB(A)
6 hrs	92 dB(A)
4 hrs	95 dB(A)
2 hrs	97 dB(A)
1 hr	100 dB(A)
.25 hr	115 dB(A)

Mais surdité 26 dB à 65 ans chez 15 % population exposée à cette dose



Musique symphonique

TABLE I—*Sound levels during rehearsal*

Composer, work	Sound level (dB)		Duration (minutes)
	Equivalent continuous	Peak	
Goldschmidt, Ciacona Sinfonica	89.7	106	103
Haydn, Symphony No 7	83.3	106	36
Mozart, Piano Concerto in E \flat	81.6	108	36
Ravel, Mother Goose Suite	85.5	95	27
Ravel, La Valse	87.0	112	29
Ravel, Piano Concerto for Left Hand	83.0	108	24
Ravel, Piano Concerto in G Major	77.0	108	42
Schnittke, Symphony No 4	86.9	109	60
Shostakovich, Symphony No 1	88.8	110	47
Turnage, Night Dances	84.6	105	25

TABLE II—*Sound levels during rehearsal and performance*

	Equivalent continuous sound level (dB)	Duration (minutes)
Messiaen, Turangalila Symphony;		
Varese, Deserts		
Rehearsal	87.4	120
Performance	90.9	107
Total	87	227
% Of daily permissible dose	65	
Mahler, Ninth Symphony		
Rehearsal	87.3	72
Performance	89.8	64
Total	88.6	136
% Of daily permissible dose	21	



TABLE III—*Sound levels in individual sections*

Instrument (work)	Equivalent continuous sound level (dB)		
	Section	General	Difference
Percussion (Schnittke, Fourth Symphony)	89.3	86.9	2.4
Horn (Mahler, Ninth Symphony)	96.0	89.8	6.2
Trumpet (Mahler, Ninth Symphony)	96.9	89.5	7.4
Bassoon (Ravel, La Valse)	97.0	87.0	10.0
Second violin (Turnage, Night Dances)	85.4	84.6	0.8

BF

TABLE IV—*Noise doses*

Instrument (work)	Sound level (dB)		Duration (minutes)	% of dose
	Equivalent continuous	Peak		
Trumpet (Mahler, Ninth Symphony)	96	112	193	160
Piccolo (Messiaen, Turangalila; Turnage, Night Dances)	94.2	111.8	227	124
Horn (Mahler, Ninth Symphony)	93.6	N/A	193	92
Bassoon (Ravel, Mother Goose, La Valse, Piano Concerto for Left Hand)	95.4	113	80	58



Musique classique

Groupe à risque

Groupe non à risque

Difficulté à évaluer la dose totale de musique reçue

- Travail personnel
- Orchestre : répétitions, concerts
- Cours

Pas de différence dans les HF



Musique classique

Castilla and Leon Symphony Orchestra.

n = 65

- Niveaux sonores des instruments + forts que limite permise par médecine du travail.
- Perte à 4 kHz dans le 5^{ème} percentile double de la perte attendue/age
- Violonistes : oreille gauche + dégradée

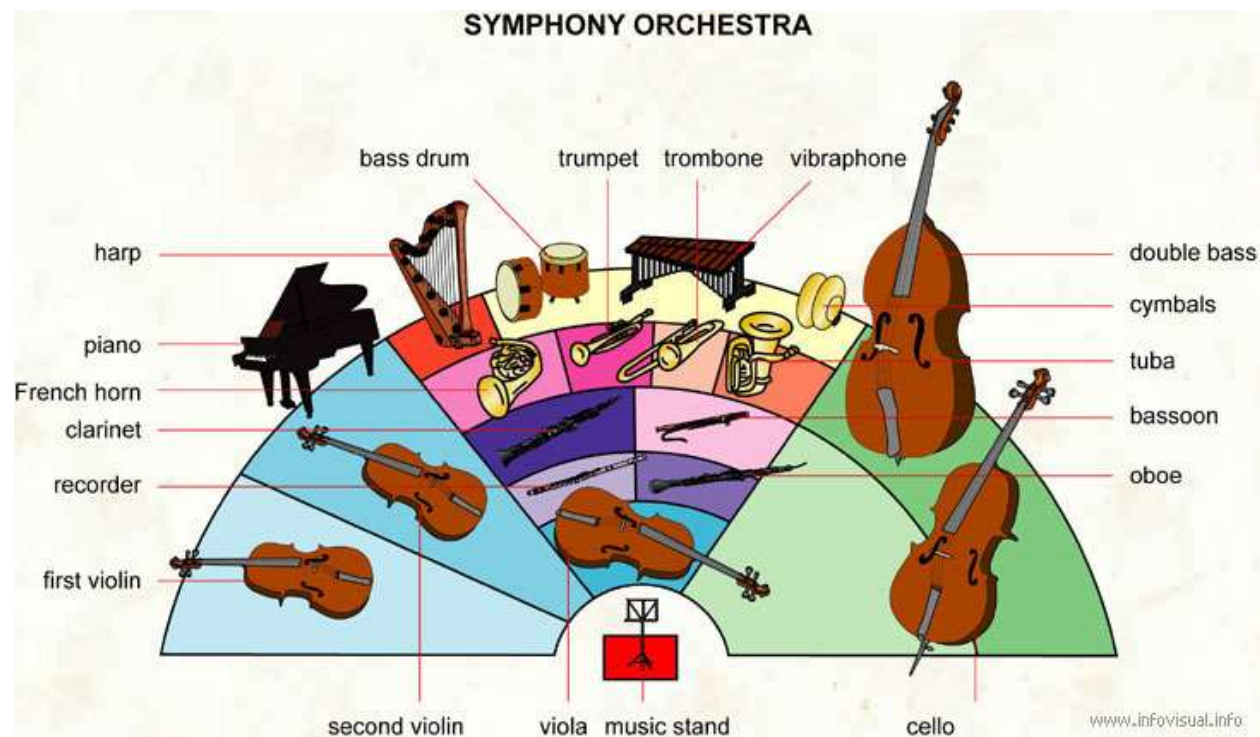
	Abv	dB
pianissimo	pp	50 dB
piano	p	60 dB
mezzo-piano	mp	66 dB
mezzo-forte	mf	76 dB
forte	f	80 dB
fortissimo	ff	90 dB
fortississimo	fff	100 dB

Morais, D., J. I. Benito, et al. (2007). "Acoustic trauma in classical music players." Acta Otorrinolaringol Esp **58(9): 401-7.**



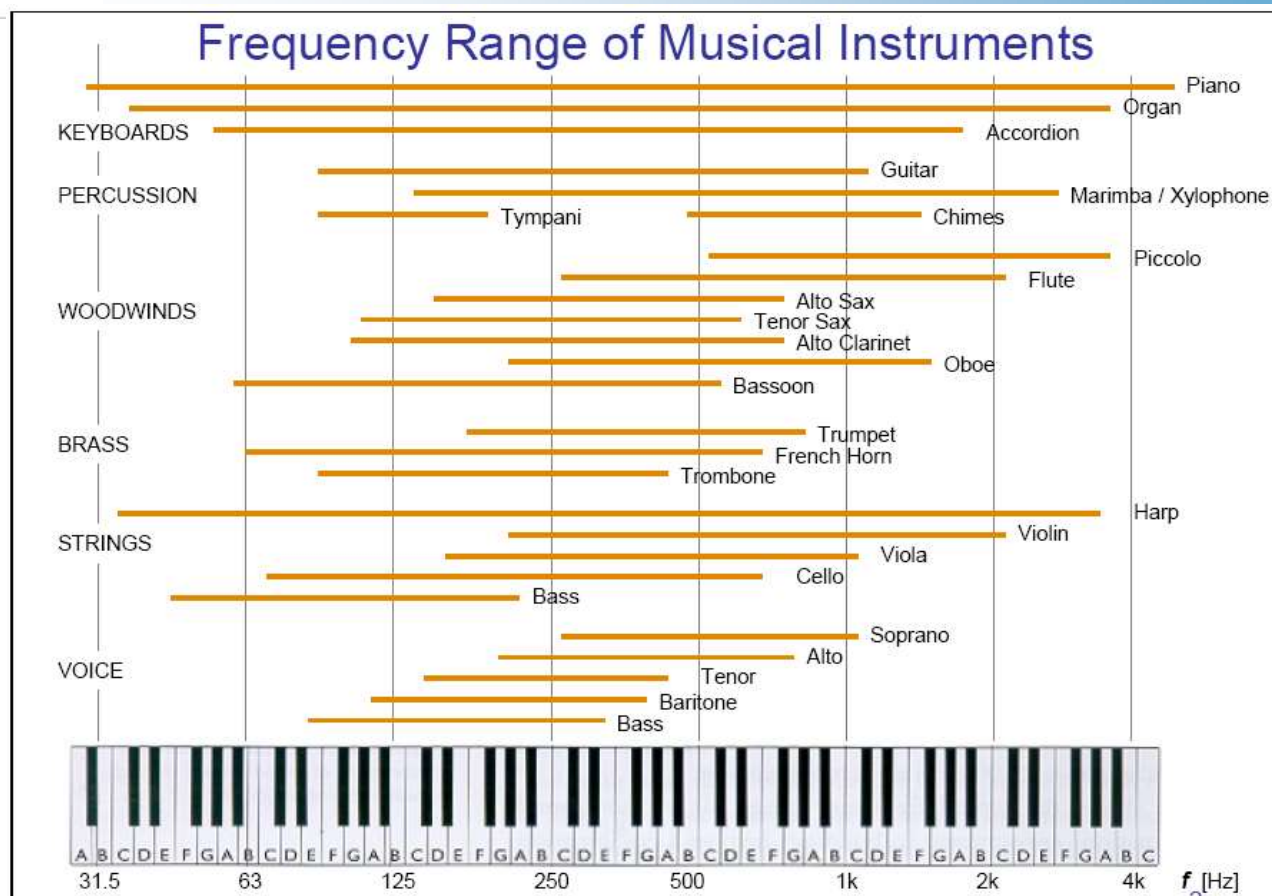
Solutions

- Suppression de la source sonore : difficile
- Protection auditive :
 - Protections plexiglass, auditive





Effet de la position dans l'orchestre



Minnesota Orchestra members (42 H, 18 F) 24 – 64 ans

Avec symptômes de surdité. Etude position orchestre, type instrument, ancienneté

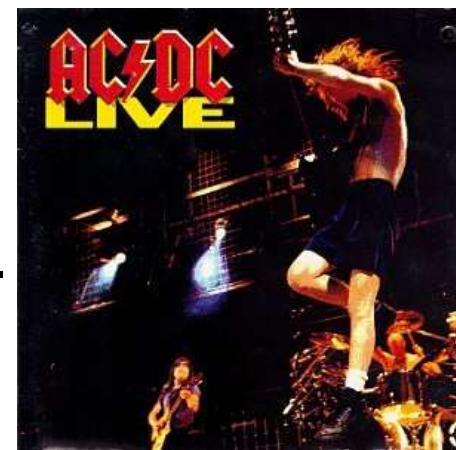
Pas de corrélation trouvée avec la surdité.

Johnson, D. W., R. E. Sherman, et al. (1985). "Effects of instrument type and orchestral position on hearing sensitivity for 0.25 to 20 kHz in the orchestral musician." Scand Audiol **14(4)**: 215-21.



Musique rock

- Sept publications sur musique rock et surdité.
- Surdité : 20% des cas; prévalence 5 - 41%.
- Acouphène et hyperacousie : + fréquente que chez non musicien



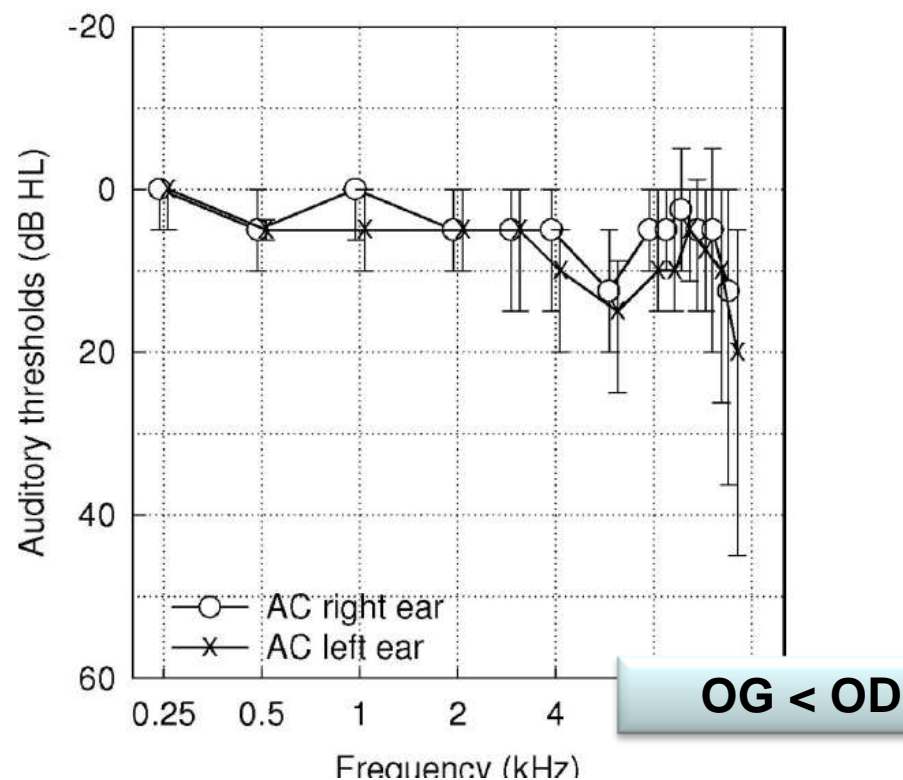
Stormer CC, Stenklev NC. Rock music and hearing disorders. Tidsskr Nor Laegeforen. 2007 Mar 29;127(7):874-7.



Musiciens non professionnels



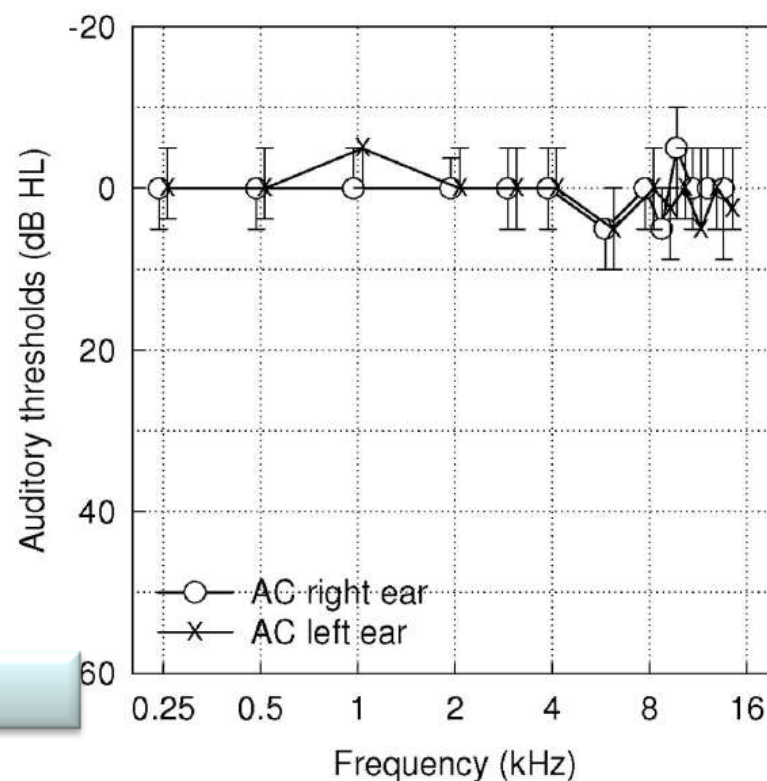
A Pop/rock musicians (84 ears)



Mean – 6dB

H = F

B Control group (40 ears)



Mean – 1.5 dB

$P < 0.001$

Schmuziger, N. et al. (2006). Hearing in nonprofessional pop/rock musicians. Ear Hear **27(4)**: 321-30.



TABLE 1. Subjects with poorer pure-tone threshold averages from 3 to 8 kHz than the 10th percentile (bold entries) of the ISO 7029 data

Age (yr)	Instrument	Exposure time		Thresholds (dB HL)		Tinnitus*	HSS*
		Yr	Wk (h)	3–8 kHz	9–14 kHz		
23	Trombone	5	3	2.5 (R) 17.5 (L)	–1 (R) 48 (L)	0	0.5
22	Guitar	6	9	16 (R) 10 (L)	4 (R) –1 (L)	0	0
23	Guitar	7	4	11 (R) 16 (L)	8 (R) 13 (L)	0	6†
29	Guitar	11	5	11 (R) 25 (L)	10 (R) 24 (L)	0	0
34 ¹	Percussion	16	8	9 (R) 21 (L)	5 (R) 26 (L)	0	9†
49 ²	Guitar and keyboard	30	4	32 (R) 40 (L)	14 (R) 25 (L)	2‡	0



-0.9 dB



- 6.7 dB

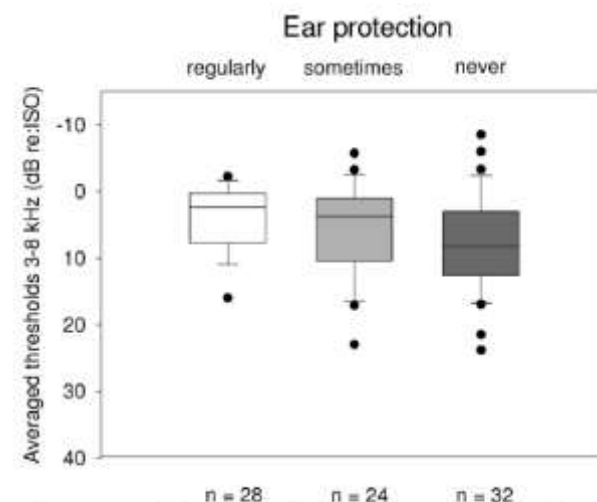













Fig. 4. Averaged pure-tone thresholds from 3 to 8 kHz (dB, re: ISO) as a function of the use of ear protection. Horizontal line through each box denotes the median value; boxes indicate quartile range; whiskers denote the 10th and 90th percentiles; circles indicate outliers.



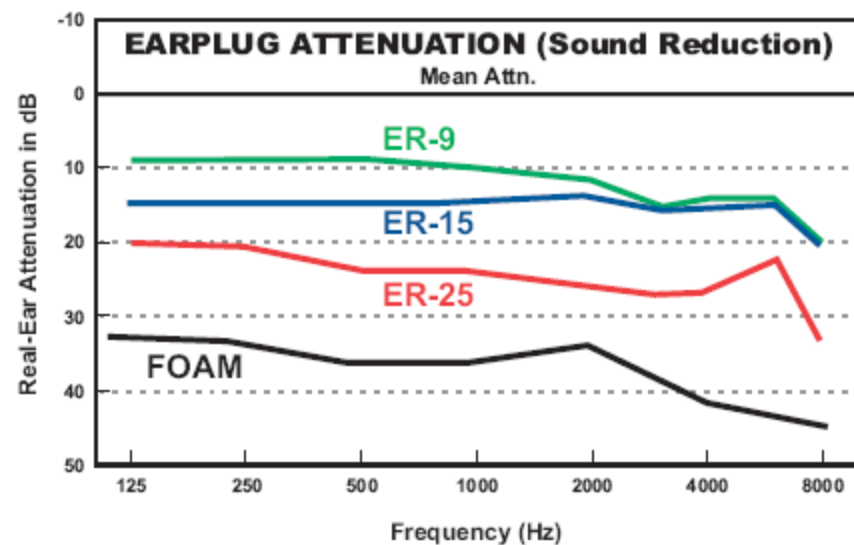
Danger Zone	
decibels	
150	Jet Take-Off
140	Gun Shot
130	Jack-Hammer, Rock Concert
120	Car Stereo, Band Practice
110	Dance Clubs, Headphones
100	Factory
90	Subway
80	Busy Street
70	Restaurant
60	Conversation





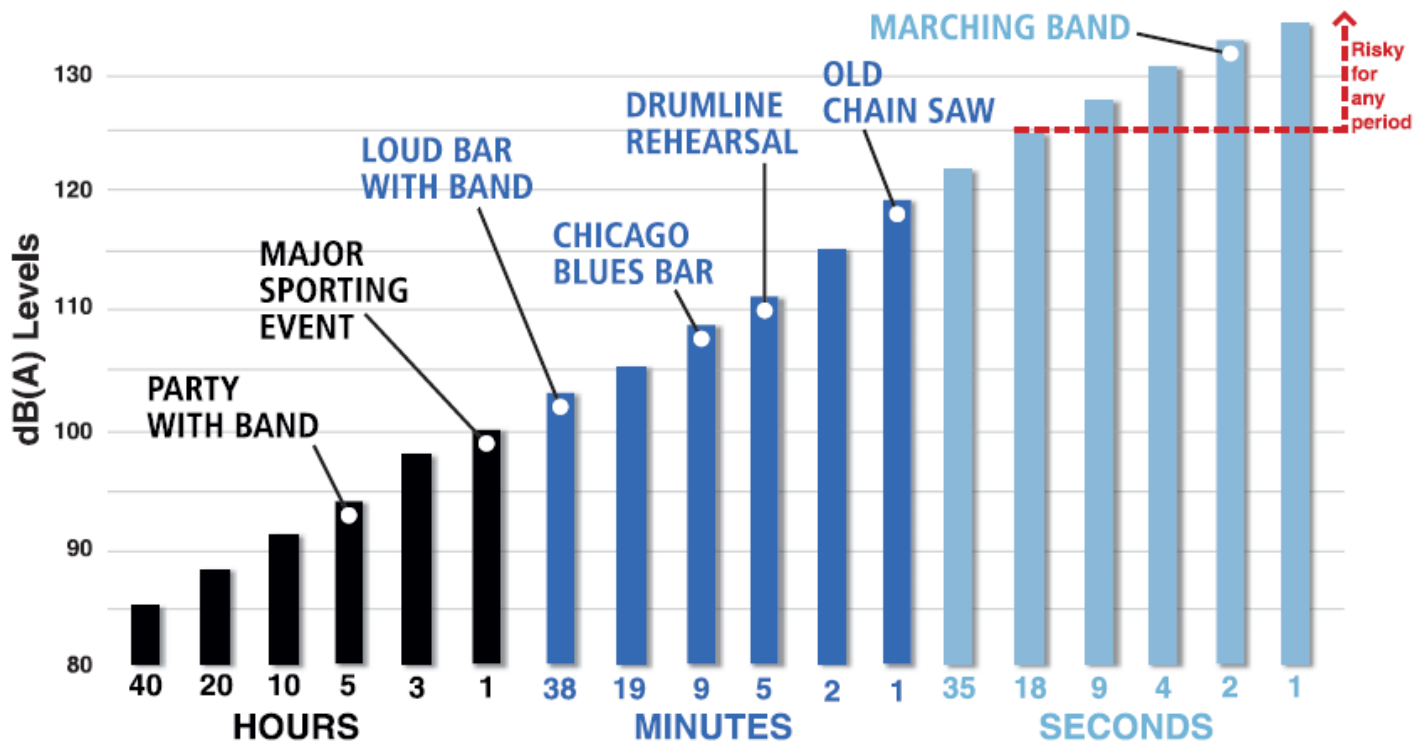
					
	ER-9 Musicians Earplug	ER-15 Musicians Earplug	ER-25 Musicians Earplug		
Description	Flat 9 dB sound reduction through the mid range. Same high frequency protection as the ER-15				
	Provides uniform 15 dB sound reduction across all frequencies				
	Provides 25 dB of relatively flat sound reduction across all frequencies				
Button Colors					
Interchangeability	Identical dimensions. Change buttons for different listening conditions.				
Earmold styles					
	Standard	Partially countersunk	Countersunk		
Insertion	Moisten the mold for ease of insertion. Pull the ear outward and upward while easing the mold into the ear canal.				
Cleaning	Remove button from mold. Use water and mild soap on the mold only. Dry mold thoroughly before replacing button.				
Replacement	Discoloration, shrinkage, cracking, hardening of earmold material, deterioration in performance.				

Musicians Earplugs require custom earmolds. Deep impressions past the second bend of the ear canal must be taken to ensure the effectiveness of these earplugs and to reduce the occlusion effect.





Allowable Weekly Sound Exposure To Be Safe



Hearing loss is a function of exposure time, the average noise level and the peak level of very loud sounds.

Max 8 h à 85 dB SPL (A)

Temps d'exposition /2 à chaque augmentation de 3 dB

[Home](#)[About Us](#)[Musicians](#)[Web Links](#)[Event Calendar](#)[Contact Us](#)

Association of Adult Musicians with Hearing Loss

proving the loss of hearing does not equal the loss of music

Join AAMHL!



Written by Wendy Cheng

 Tuesday, 22 January 2008

AAMHL has an online community on Big Tent where audiologists, music educators/therapists and adult musicians with hearing loss can get together to discuss issues of interest, work on collaborative projects and list upcoming events on making music with a hearing loss.

The only requirement we have for prospective members is that they are adults (18 years of age or older) and have a serious interest in making music with a hearing loss.

Filling in the form below will allow Big Tent to send you an invitation to register for the collaboration site. Please note the city/state/zip portion of the registration form is optional data.

Name

Email Address



Différences parole et musique

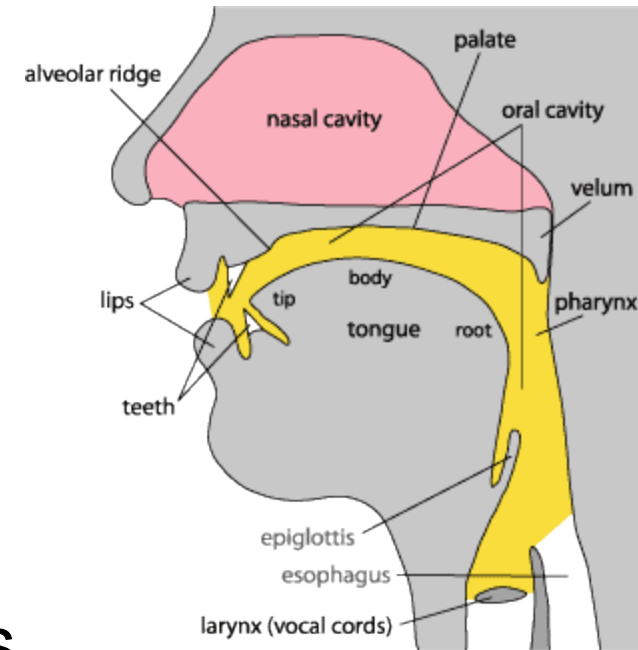
Cinq différences

1. Parole vs. musique
2. Onde physique vs. requis perceptuel
3. Sonie, intensité, effet de sommation
4. « Crest » facteur
5. Différences d'intensité parole-musique



1/ Parole vs. musique

- Formants : constriction bouche, L appareil vocal
 - Graves +++
 - Indépendant de la langue
 - Émission peu variable
- Musique : bruit filtré passe-bas
 - Émission très variable f(instruments)





2/ Onde physique vs. requis perceptuel

Parole  Index d'articulation

- IA varie peu suivant les langues
 - **Clarté : bandes > 1 kHz (consonantes)**
 - **Intensité : bandes < 1 kHz**
- **Région spectrale ayant la + grande énergie est dans les BF**
- **Linguistiquement : la voix est dominante phonétiquement dans les BF, phonémiquement dans les HF**



2/ Onde physique vs. requis perceptuel

Musique

- Spectre « phonémique » très variable



relation F_0 et structure harmonique dans les HF

Notion de balance en I et localisation spectrale

Requis phonémique jusqu'à 6 kHz

Un violoniste émet une large gamme de sons mais doit aussi être en mesure de les entendre



2/ Onde physique vs. requis perceptuel

Musique

- Spectre « phonémique » très variable

BF et inter résonances respiratoires

Requis phonémique BF





3: Sonie, intensité, effet de sommation

Parole

- Résonateur $f(1/2 \lambda)$
- Harmoniques espacées également
suivant $x F_0$ Ex: 125, 250, 375

Espacement entre F_0 : min 100 Hz



F_1

F_2



Effet
sommation
max



3: Sonie, intensité, effet de sommation

Musique

Instruments à harmoniques espacées également
suivant $x F_0$

Ex:



« Speech like »

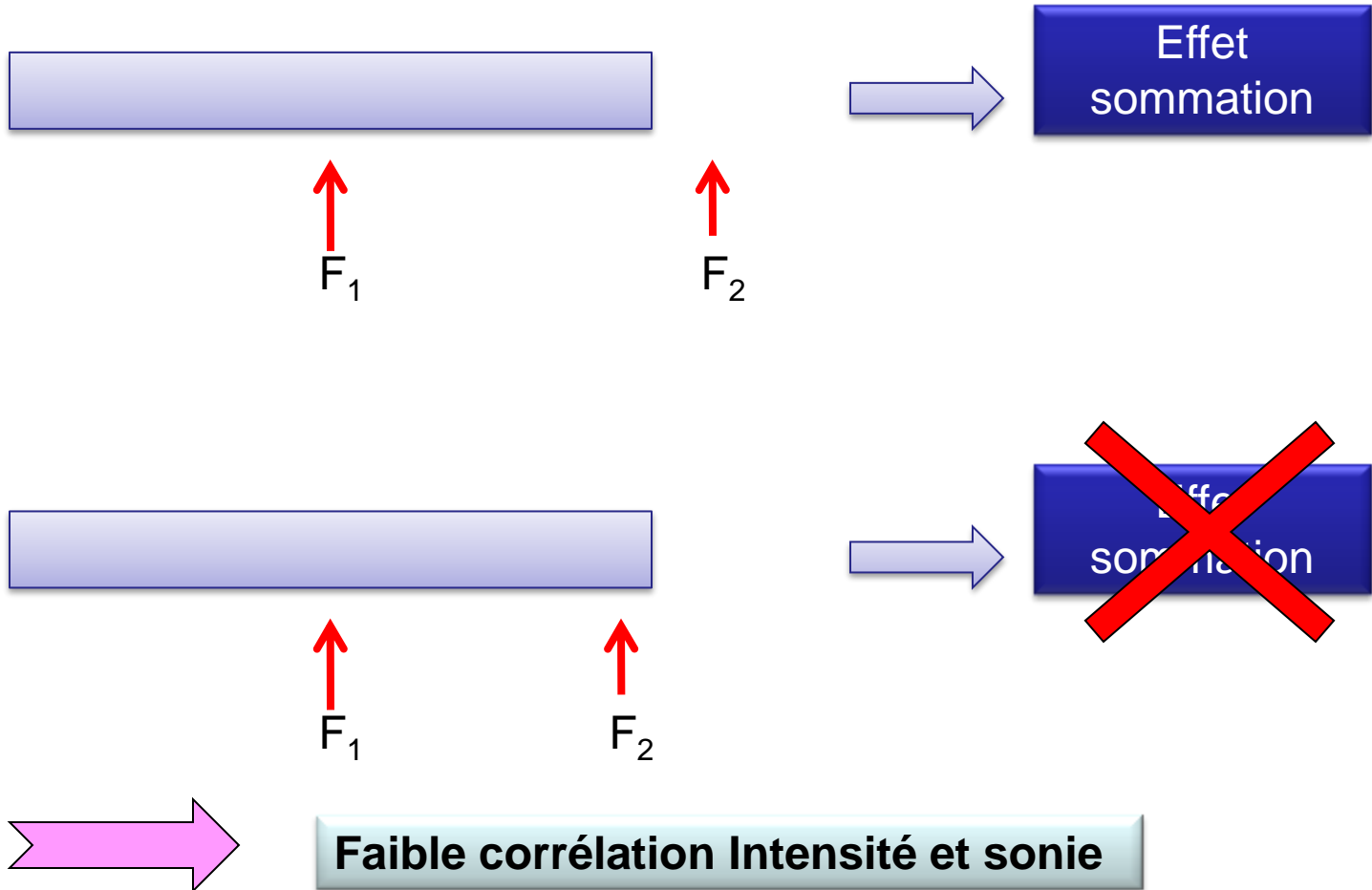
Générateur $\frac{1}{4} \lambda$ (harmoniques paires)

Générateur $\frac{1}{2} \lambda$



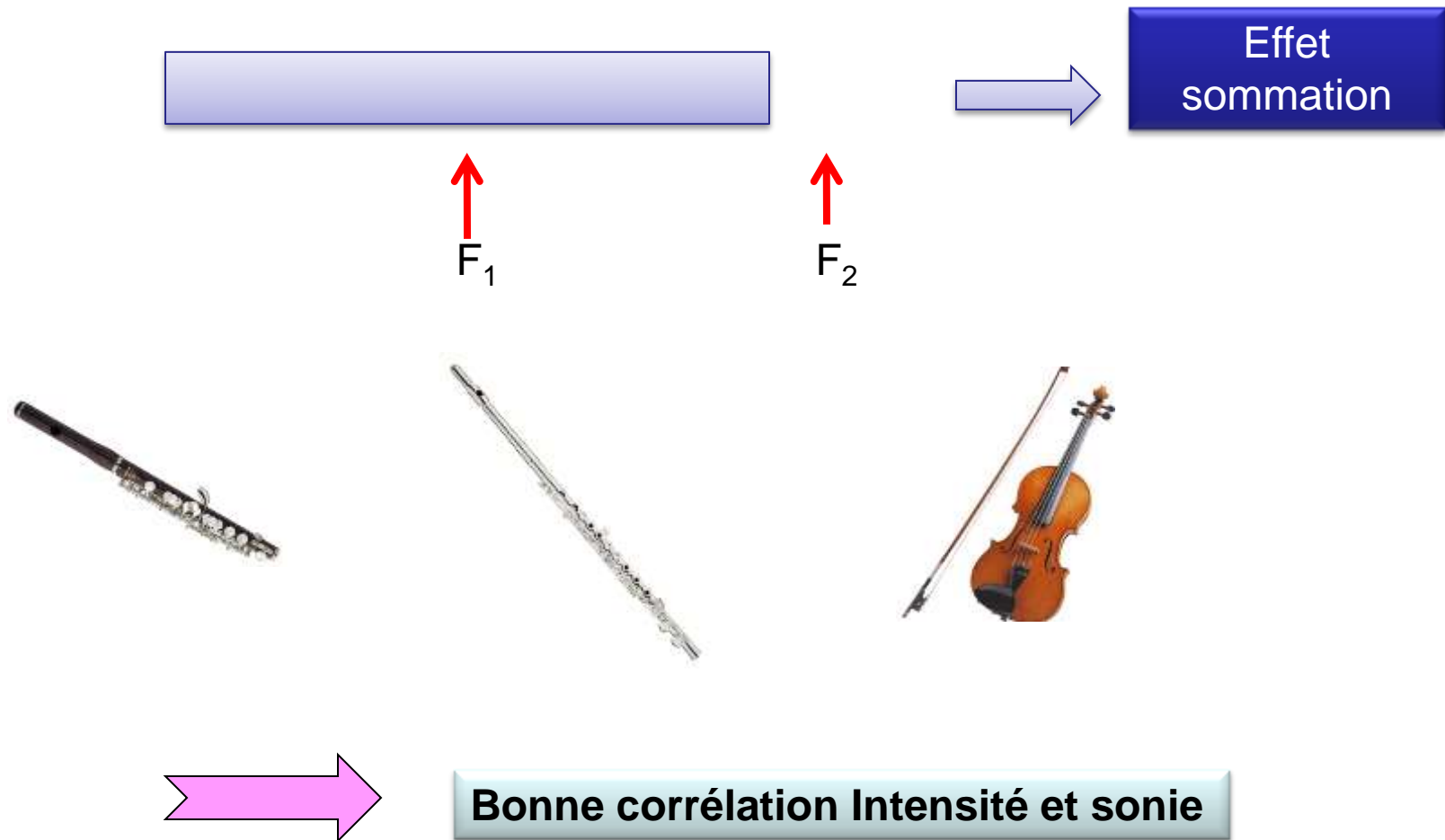


3: Sonie, intensité, effet de sommation



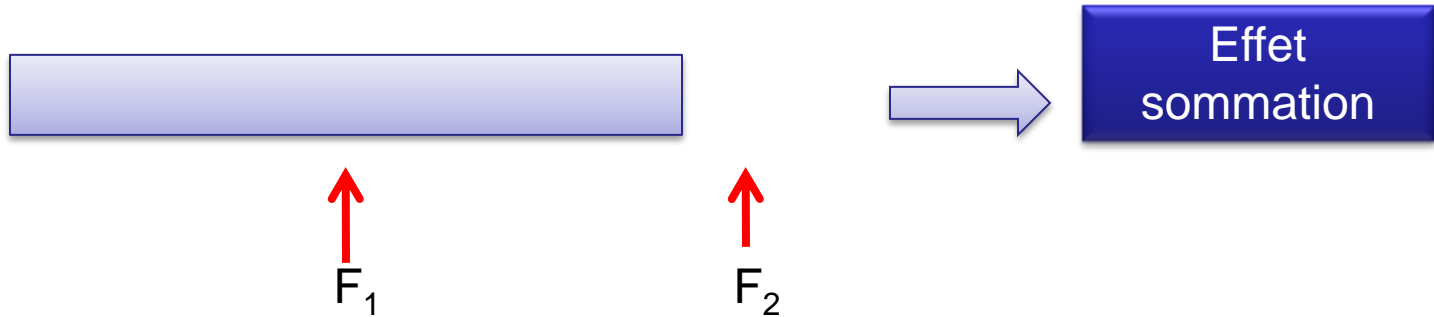


3: Sonie, intensité, effet de sommation





3: Sonie, intensité, effet de sommation



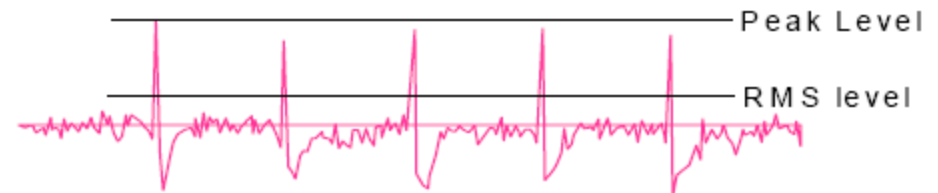
Si appareillage auditif : limiter le gain
dans les BF et moyennes F



4/ « Crest » facteur

Crest Factor =
Peak / RMS

$$C = \frac{|x|_{\text{peak}}}{x_{\text{rms}}}$$



Le crest facteur est le rapport de la valeur crête sur la valeur efficace, pour un signal sinusoïdal par exemple le crest facteur est égal à racine 2

Parole : crest facteur 12 dB

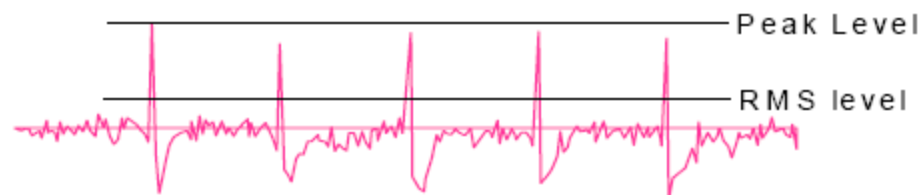
Musique : crest facteur 18-20 dB



4/ « Crest » facteur

Crest Factor =
Peak / RMS

$$C = \frac{|x|_{\text{peak}}}{x_{\text{rms}}}$$



Musique : 18-20 dB

Aides auditives à système de compression utilisant

- les détecteurs RMS : + approprié pour la musique*
- les pics : il manquerait 5-8 dB (parole 12 dB)*

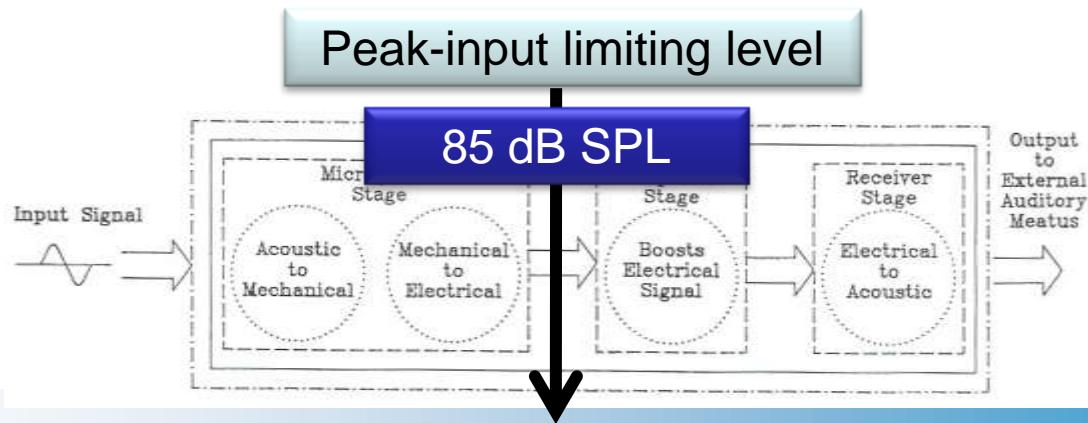


5/ Différences d'intensité parole-musique

- Parole : 53-83 dB SPL
 - +12 à -18 dB
 - Musique : pics de 100 dB SPL facilement atteint
 - Variations pics-vallées +/- 18 dB
- Transduction des microphones jusqu'à 115 dB SPL
risque de distorsion du signal avec la musique

Pour une surdité donnée :

Gain Input/output + faible pour la musique que pour parole



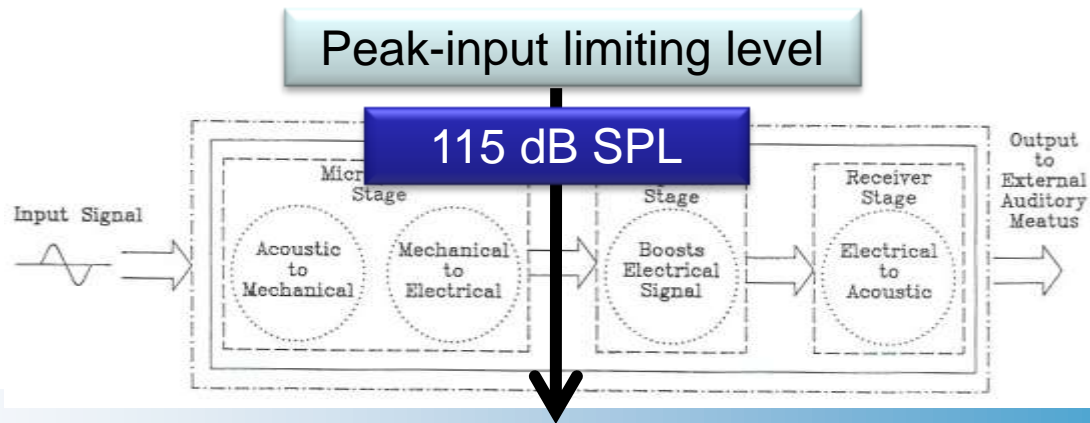


5/ Différences d'intensité parole-musique

- Parole : 53-83 dB SPL
 - +12 à -18 dB
 - Musique : pics de 100 dB SPL facilement atteint
 - Variations pics-vallées +/- 18 dB
- Transduction des microphones jusqu'à 115 dB SPL
risque de distorsion du signal avec la musique

Pour une surdité donnée :

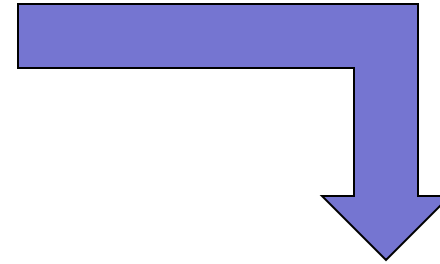
Gain Input/output + faible pour la musique que pour parole





Hauteur et timbre musical

- Hauteur
- Timbre
 - Spectre (distribution énergétique)
 - Enveloppe temporelle (synchronicité)
 - Composantes discrètes tonales
 - attaque



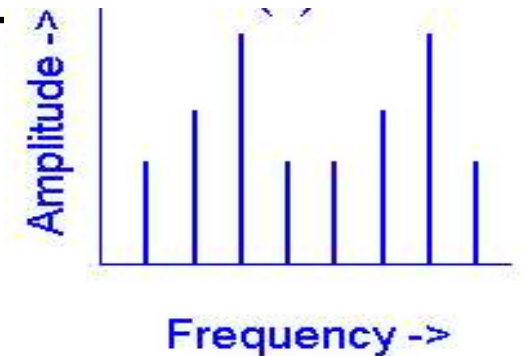
Distorsions

- Linéaires
 - Intensité
 - Phase
- Non linéaires
 - Nouvelle harmonique



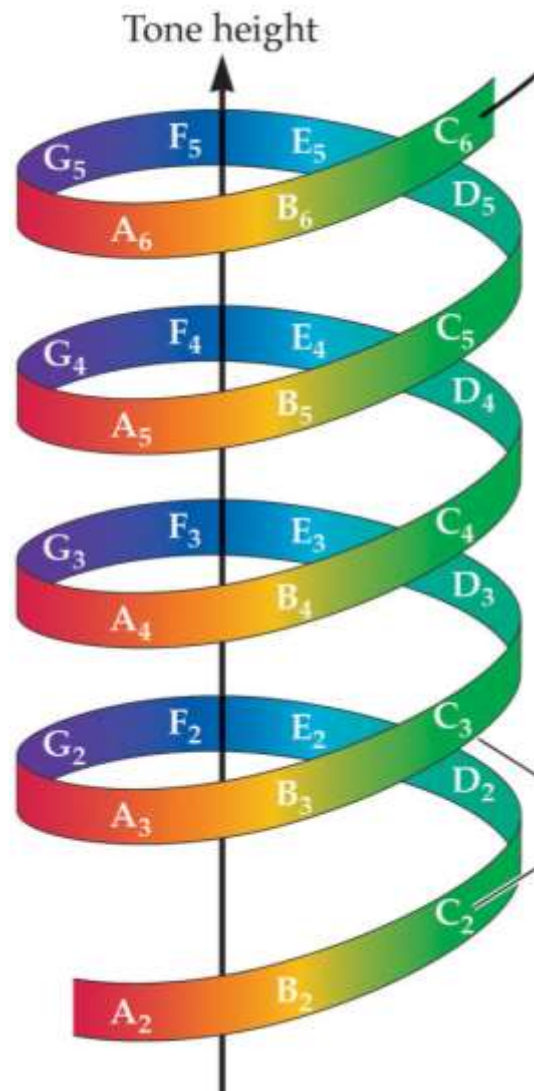
Distorsions linéaires

- Changement d'amplitude ou de phase d'un signal sans addition de nouveaux signaux.
- Un déséquilibre entre BF et HF affecte le timbre





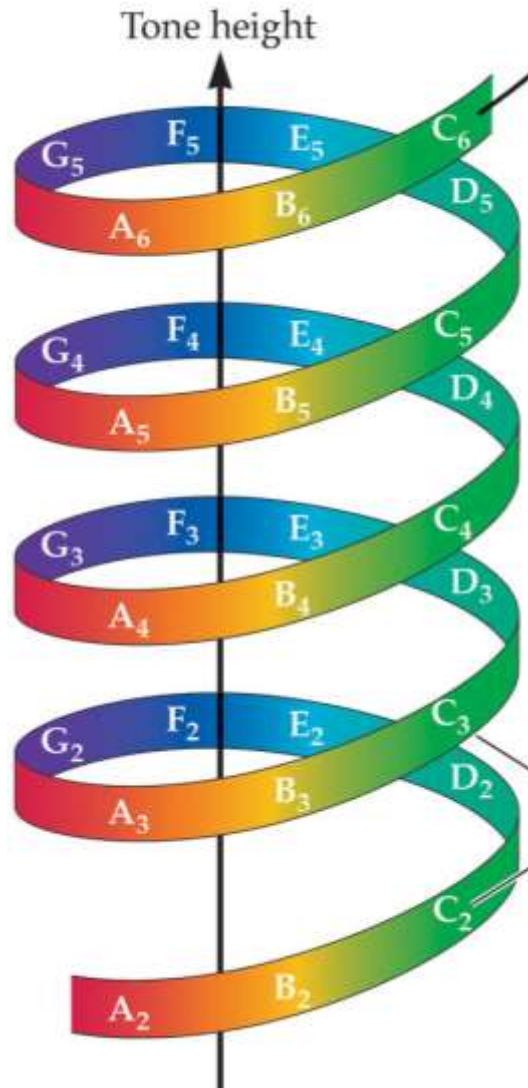
Distorsions linéaires



Modification d'un
signal dont le ratio
BF/HF est changé



Distorsion de phase



Tons BF et structures harmoniques riches
Sont max avec appareillage auditif

- Pas d'effet d'atténuation avec la réflexion, réverbération des salles de concert.



Distorsions non linéaires

- Nouvelles harmoniques non présentes dans le signal original
- Ex : appareil de restitution musicale à niveau max (peak clipping)



Harmoniques paires

+ nouvelle harmonique → altération du timbre



Intensité

- Changements d'intensité : indice dans l'attente musicale immédiate
- Facteur d'émotion

Une compression du signal trop forte a un effet négatif sur la perception de la hauteur (et leurs intervalles)



Musicien malentendant

- Limitations input 85 dB SPL (musique devrait être 105)

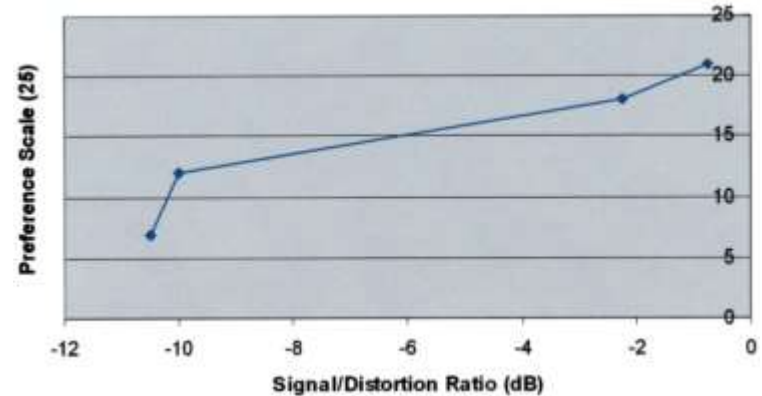
Peak input limiting level (dB SPL)	Signal-to-distortion ratio (dB)
115	-0.75
105	-2.25
96	-10.0
92	-10.5

Source : Chasin, M. and F. A. Russo (2004). Hearing AIDS and music. Trends Amplif **8(2)**: 35-47.



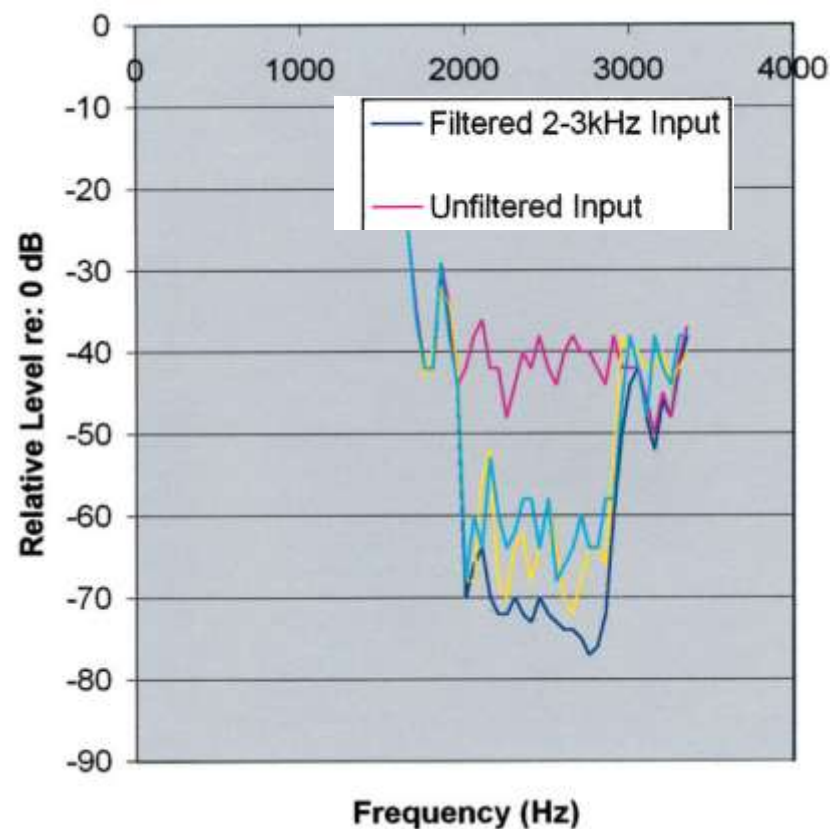
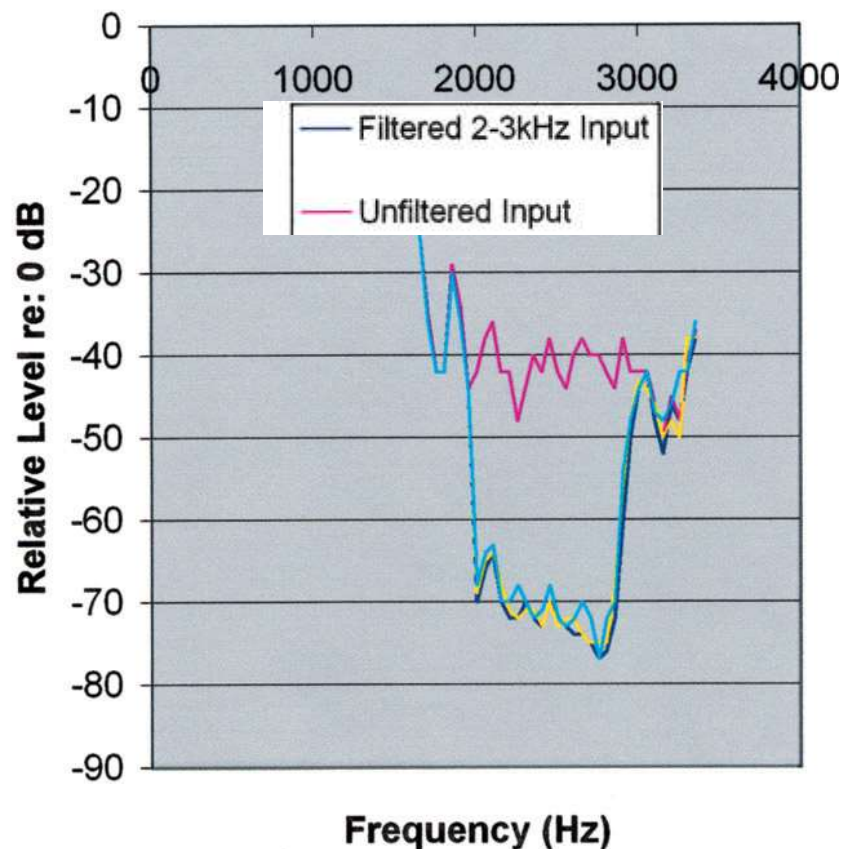
Musicien malentendant

- Limitations input 85 dB SPL (musique devrait être 105)



- Gain identique sur toutes les bandes fréquentielles
- Crest facteur plus élevé de 5-8 dB
- Circuit de compression dynamique (WDRC)

Source : Chasin, M. and F. A. Russo (2004). Hearing AIDS and music. Trends Amplif **8(2)**: 35-47.



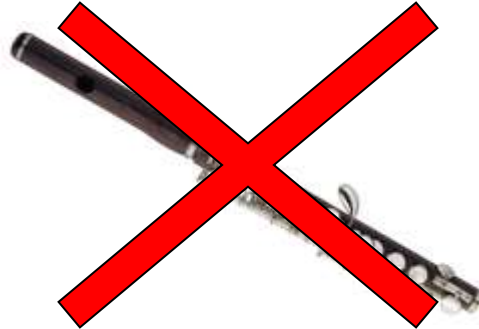
Source : Chasin, M. and F. A. Russo (2004). Hearing AIDS and music. Trends Amplif **8(2)**: 35-47.



Feedback et réduction de bruit

- Peuvent être néfastes en musique

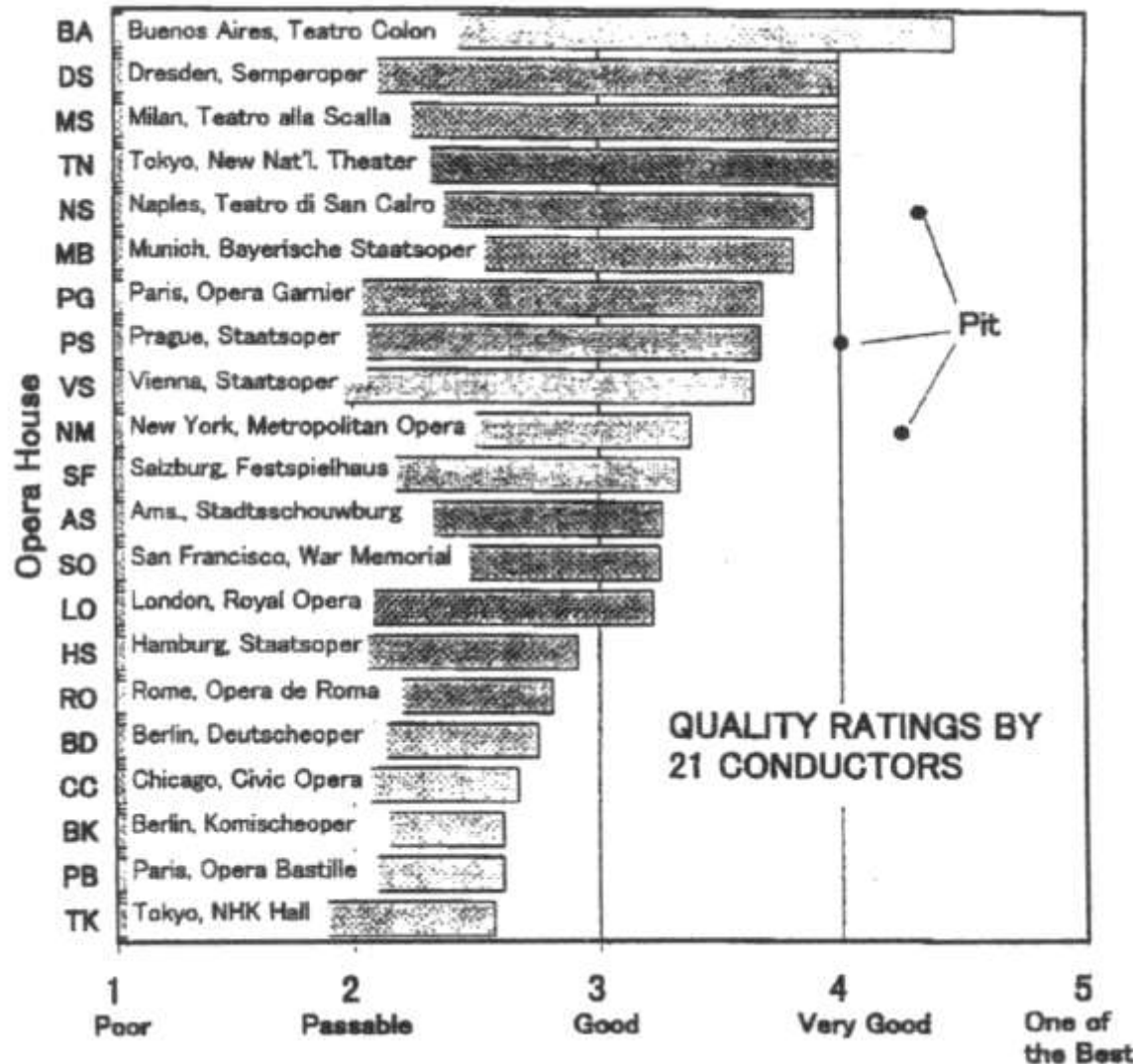
- Ex :



- Chaque fabricant d'appareillage a le meilleur système de réduction de bruit pour la parole ? Et la musique ?



Et les salles de concert ?



Qualité sonore très différente.

Semperoper très réverbérant

La Scalla très "amortie".

La qualité dépend beaucoup de facteurs non-soniques.





SFPPC

**Surdité
&
perception
musicale**



Sébastien Schmerber

Université de Grenoble

Société Française de phoniatrie
Paris 2009



Musique et implant cochléaire

McDermott, H. J. (2004). "Music perception with cochlear implants: a review." Trends Amplif **8(2): 49-82.**



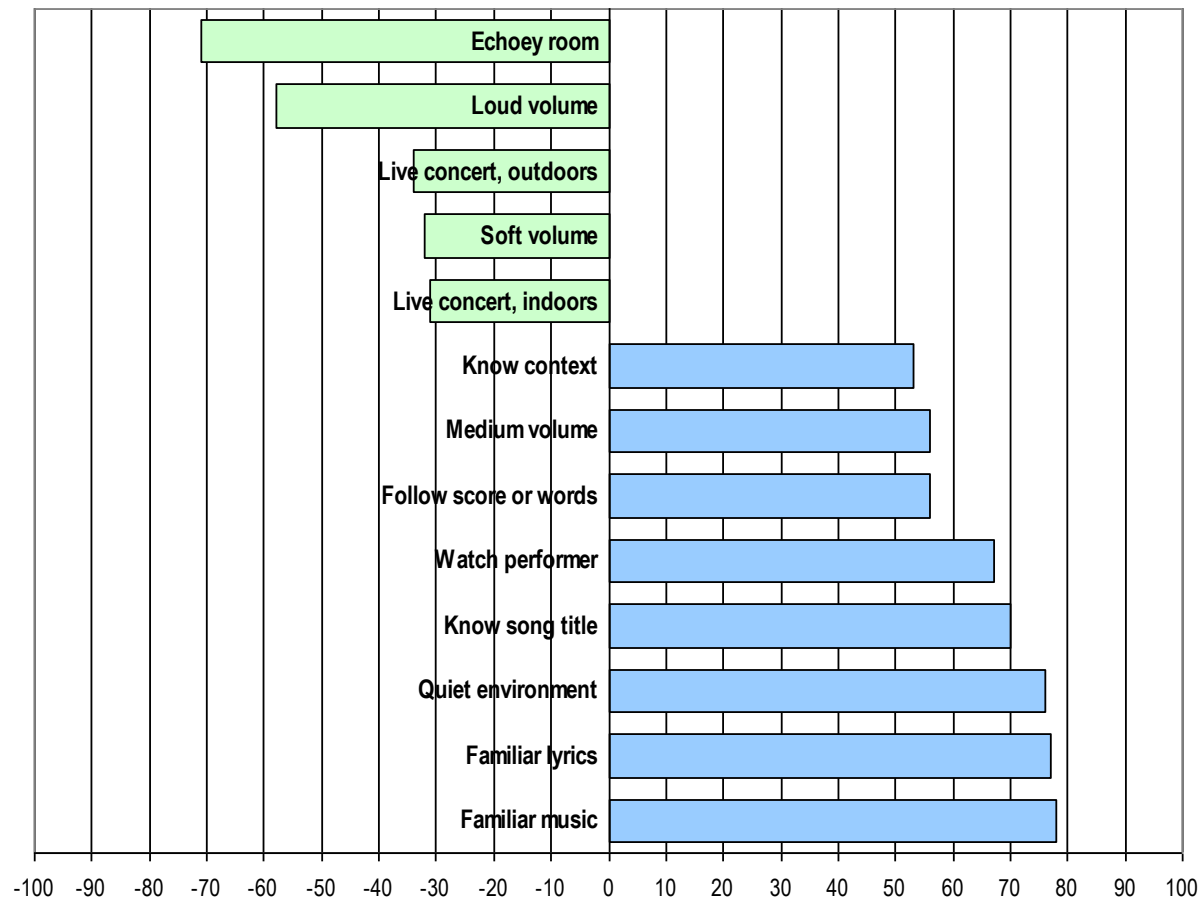
l'implant cochléaire : ce qui est difficile

Perception vocale dans le bruit et musique limitées
par :

- composantes spectrales et temporelle de la stimulation électrique
- codages stratégies (Qin & Oxenham, 2003; Smith et al, 2002)
- Difficulté reconnaissance de la mélodie, notamment quand l'information rythmique est exclue et que seul le pitch est présenté.
- discrimination du pitch limitée dans l'IC, notamment dans les BF.
- Utilisation du contour mélodique.

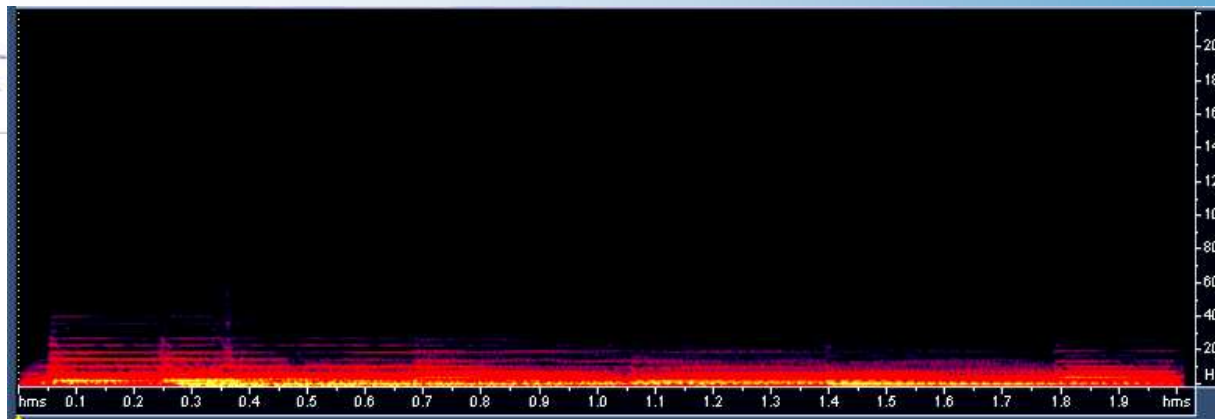


Facteurs d'écoute avec un implant cochléaire

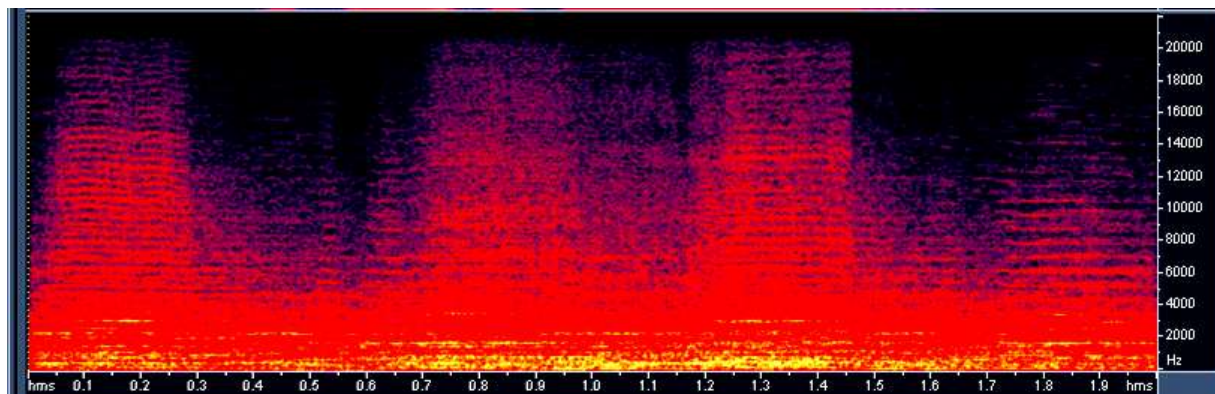




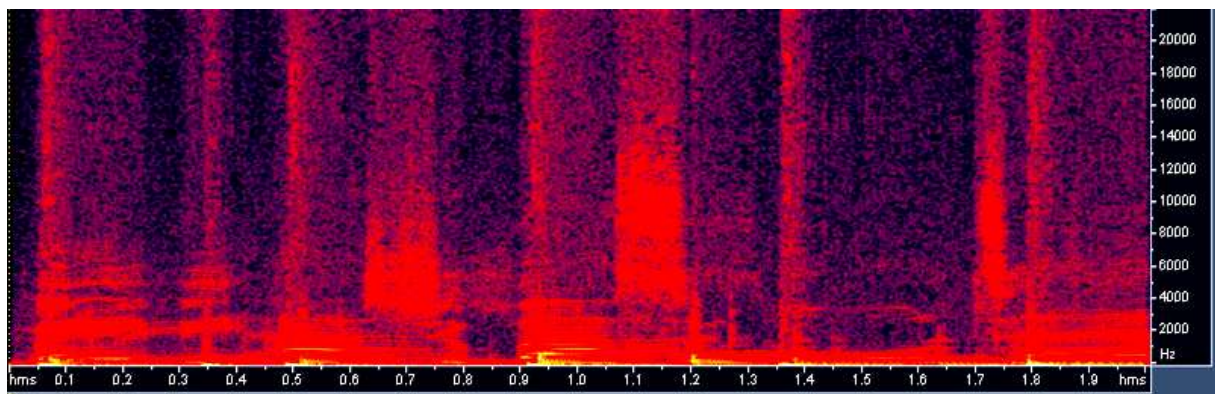
Spectral Analyses of Musical Stimuli



Piano
solo



Orchestra



Vocal solo
+ guitar



Digitization of Sound

[Steinmetz and Nahrstedt]



Digitization

Microphones, video cameras produce *analog signals* (continuous-valued voltages)



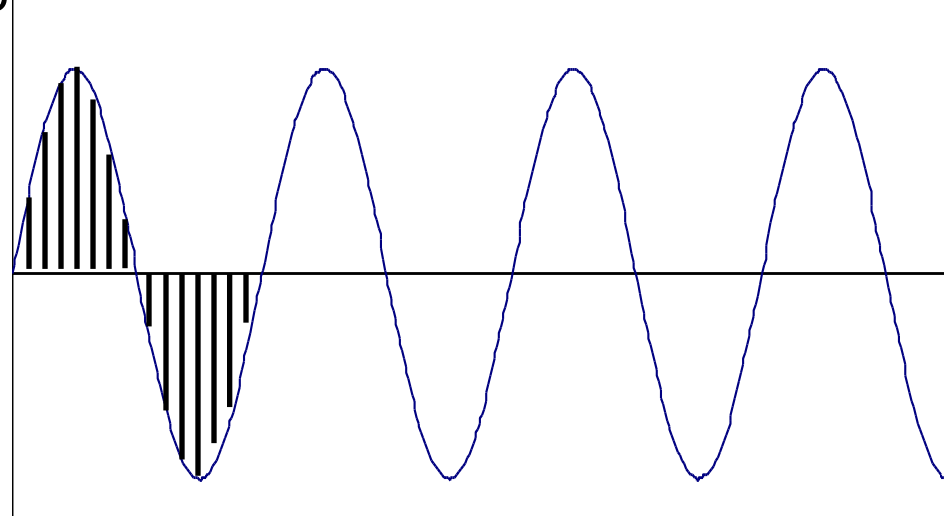
To get audio or video into a computer, we must *digitize* it (convert it into a stream of numbers)

So, we have to understand *discrete sampling* (both time and voltage)



Discrete Sampling

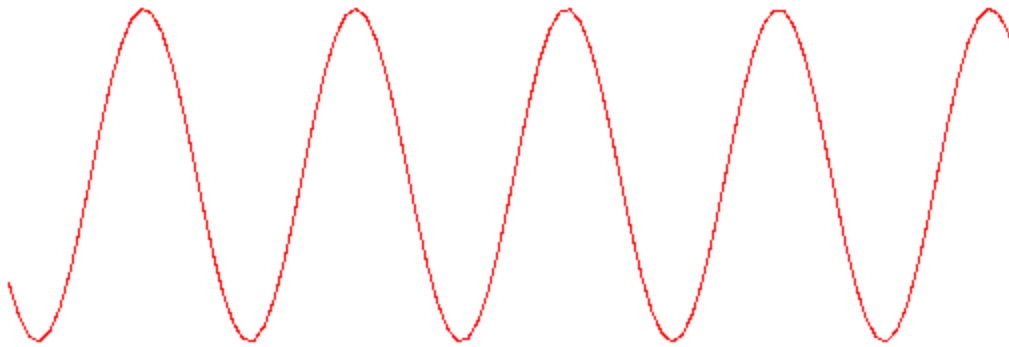
- *Sampling* -- divide the horizontal axis (the time dimension) into discrete pieces. Uniform sampling is ubiquitous.
- *Quantization* -- divide the vertical axis (signal strength) into pieces. Sometimes, a non-linear function is applied.
 - 8 bit quantization divides the vertical axis into 256 levels. 16 bit gives you 65536 levels.



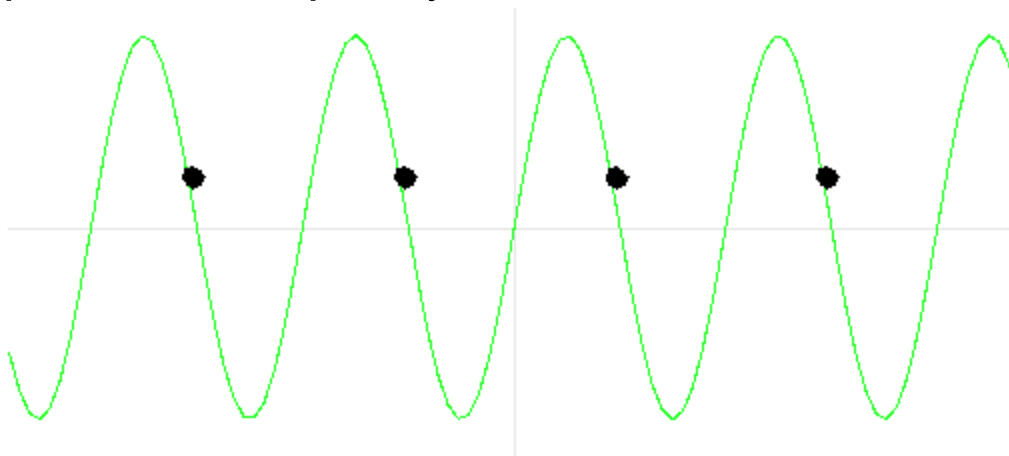


Nyquist Theorem

- Suppose we are sampling a sine wave. How often do we need to sample it to figure out its frequency?



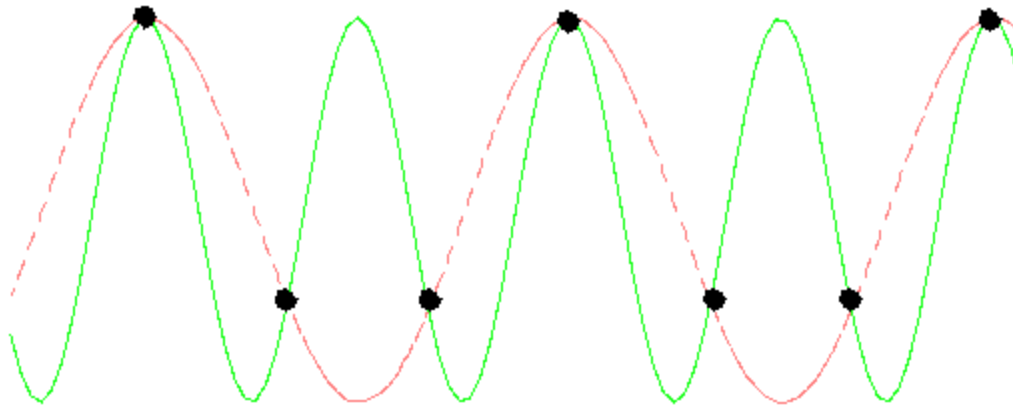
- If we sample at 1 time per cycle, we can think it's a constant.





Nyquist Rate

- If we sample at 1.5 times per cycle, we can think it's a lower frequency sine wave.

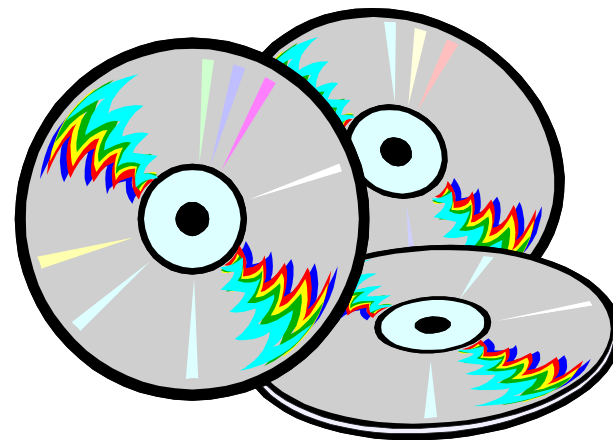


- **Nyquist rate** "For lossless digitization, the sampling rate should be at least twice the maximum frequency response."



Digital Audio

- Standard music CD:
 - Sampling Rate: 44.1 kHz
 - 16-bit samples
 - 2-channel stereo
 - Data transfer rate = $2 \times 16 \times 44,100 = 1.4 \text{ Mbits/s}$
 - 1 hour of music = $1.4 \times 3,600 = 635 \text{ MB}$





Sound Intensity and the Decibel Scale



Sound Intensity

- *Intensity* (I) of a wave is the rate at which sound energy flows through a unit area (A) perpendicular to the direction of travel

$$I = \frac{1}{A} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{P}{A}$$

P measured in watts (W), A measured in m^2

- *Threshold of hearing* I_0 is at 10^{-12} W/m^2
- *Threshold of pain* is at 1 W/m^2



Decibel Scale

- Describes intensity relative to threshold of hearing based on multiples of 10

$$dB = 10 \log \frac{I}{I_0}$$



Decibels of Everyday Sounds



Sound	Decibels
Rustling leaves	10
Whisper	30
Ambient office noise	45
Conversation	60
Auto traffic	80
Concert	120
Jet motor	140
Spacecraft launch	180



Interpretation of Decibel Scale

- 0 dB = threshold of hearing (TOH)
- 10 dB = 10 times more intense than TOH
- 20 dB = 100 times more intense than TOH
- 30 dB = 1000 times more intense than TOH

- An increase in 10 dB means that the intensity of the sound increases by a factor of 10

- If a sound is 10^x times more intense than another, then it has a sound level that is $10 \cdot x$ more decibels than the less intense sound



Loudness from Multiple Sources

- Use energy combination equation

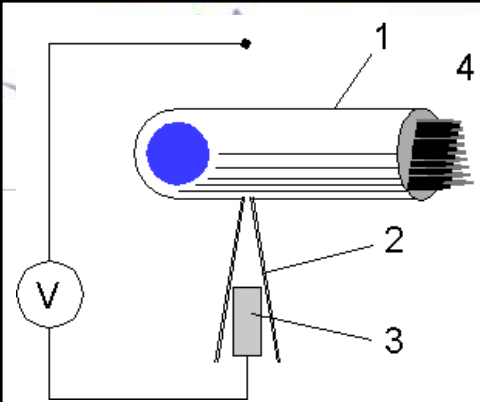
$$L = 10 \log(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_N}{10}})$$

where L_1, L_2, \dots, L_n are in dB



Exercises

- Show that the threshold of hearing is at 0 dB
- Show that the threshold of pain is at 120 dB
- Suppose an electric fan produces an intensity of 40 dB. How many times more intense is the sound of a conversation if it produces an intensity of 60 dB?
- One guitar produces 45 dB while another produces 50 dB. What is the dB reading when both are played?
- If you double the physical intensity of a sound, how many more decibels is the resulting sound?



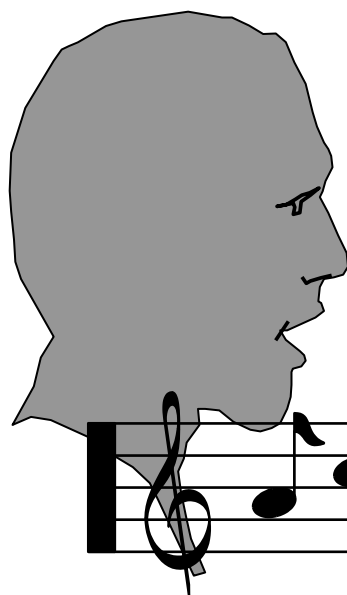


LA BANDE DE FREQUENCE NECESSAIRE POUR COMPRENDRE LA PAROLE

- Pour que la parole soit intelligible, une bande de fréquences minimale doit être perçue.
- C'est la portion du signal dite "suffisante" au plan des fréquences audibles.
- Elle s'étend de 250 à 2500 Hz
- Les structures cognitives peuvent compenser les quelques signaux manquants ou ambigus basés sur redondance phonétique et connaissance de la langue.
- Cette portion de fréquences doit être reconnaissable, à savoir être perçue à un niveau supra liminaire d'au moins 20dB, afin de permettre l'identification des traits phonétiques clés : spectre, intensité et temps .



Bien que les fréquences de la voix humaine chantée s'étendent de :



soprano

alto

ténor

basse

7 040 Hz

3 520 Hz

1 760 Hz

880 Hz

440 Hz

220 Hz

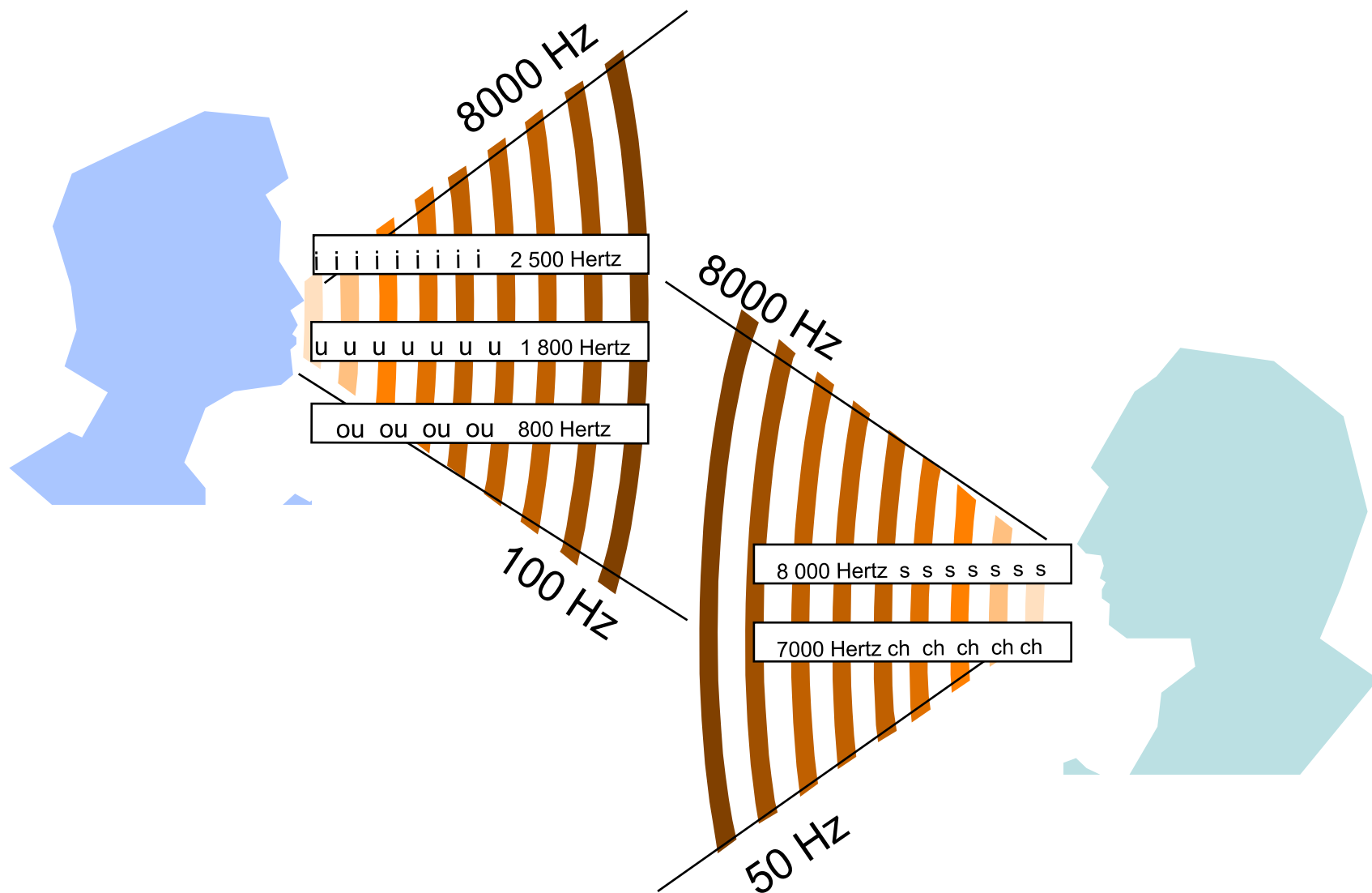
110 Hz

55 Hz

la



Bien que la hauteur des phonèmes parlés s'étendent de :





LA PERCEPTION DES TRANSITIONS FORMANTIQUES

- Si nous prenons l'exemple d'une voyelle isolée comme le A
- Les éléments formantiques de cette voyelle peuvent caractériser à eux seuls la consonne associée
- C'est l'information formantique
- Nous verrons comment les structures cognitives peuvent compenser les quelques signaux manquants ou ambigus en se basant sur ces transitions formantiques.





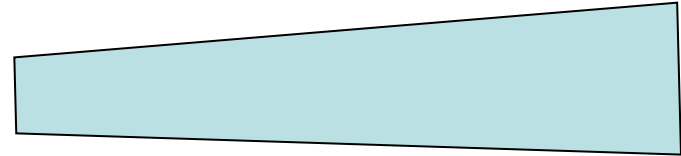
Théorie fréquentielle (temporale)

- Periodic stimulation of membrane matches frequency of sound
 - one electrical impulse at every peak
 - maps time differences of pulses to pitch
- Firing rate of neurons far below frequencies that a person can hear
 - *Volley theory*: groups of neurons fire in well-coordinated sequence



Pitch sons purs

Theorie spatiale



Place de l'excitation max le long de la mb basilaire (pattern d'excitation) - quelles fibres sont activées

Théorie temporelle

Pattern d'activation temporel -

Propriétés des fibres nerveuses à s'activer - phase locking



Relation intensité - sonie

Loi des 10 dB :

Intensité x 2 # sonie x 2

Intensité x 10 $[10 \times \log_{10}(10)] \rightarrow$ ***sonie x 2***



(500 Hz sinusoids)

2 signaux # de 10 dB